



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE POTENCIA CEM ENTRE GENERADORES DE CENTRALES FOTOVOLTAICAS

Alumno: Judit Álvarez de Eulate Ezquerro

Tutores: Miguel García Solano

Luis Marroyo Palomo

Pamplona, 4 de Junio de 2010

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer el apoyo de todas las personas que han colaborado indirectamente en este proyecto. En definitiva toda la gente que ha estado a mi lado día a día.

Especialmente quiero dar las gracias a Miguel García Solano, director del proyecto, por toda la ayuda que me ha dado a lo largo de este tiempo, por su gran dedicación hacia mi trabajo y por sus claras explicaciones e importantes aportaciones. Del mismo modo doy mis más sinceros agradecimientos a Luis Marroyo Palomo, por proporcionarme la oportunidad de trabajar en este magnífico proyecto y preocuparse del desarrollo del mismo con gran interés.

En definitiva, muchas gracias a todos.

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES Y OBEJTIVOS.	7
1.1. ANTECEDENTES.	7
1.2. OBJETIVOS.	8
2. ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE UN MÓDULO DEFECTUOSO.	9
2.1. INTRODUCCIÓN.	9
2.2. PUNTOS DE TRABAJO.	9
2.3. TIPOS DE DEFECTOS.	11
2.4. ANALISIS PARA UNA CONFIGURACION DE GENERADOR 9sx4p.	16
2.4.1. FACTOR DE FORMA BAJO.	16
2.4.1.1. <u>RESISTENCIA SERIE ALTA.</u>	16
2.4.1.2. <u>"STRINGS" CON BAJA CORRIENTE.</u>	20
2.4.2. TENSION DE CIRCUITO ABIERTO BAJA.	24
2.4.3. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO BAJA.	28
2.4.4. COMPARACION DE LOS DIFERENTES DEFECTOS. .	32
2.5. ANALISIS PARA OTRAS CONFIGURACIONES s x p.	36
2.5.1. INTRODUCCIÓN.	36
2.5.2. AUMENTO DEL Nº DE MÓDULOS EN SERIE.	37
2.5.3. AUMENTO DEL Nº DE SERIES.	37
2.5.4. FACTOR DE FORMA BAJO.	38
2.5.4.1. <u>RESISTENCIA SERIE ALTA.</u>	38
Influencia del nº de series.	38
Influencia del nº de módulos en serie.	45
Combinación de la influencia del nº de módulos en serie y del nº de series.	52
2.5.4.2. <u>"STRINGS" CON BAJA CORRIENTE.</u>	54
Influencia del nº de series.	54
Influencia del nº de módulos en serie.	62
Combinación de la influencia del nº de módulos en serie y del nº de series.	70

2.5.5. TENSION DE CIRCUITO ABIERTO BAJA.	72
Influencia del nº de series.	72
Influencia del nº de módulos en serie.	80
Combinación de la influencia del nº de módulos en serie y del nº de series.	84
2.5.6. CORRINETE DE CORTOCIRCUITO BAJA.	90
Influencia del nº de series.	90
Influencia del nº de módulos en serie.	100
Combinación de la influencia del nº de módulos en serie y del nº de series.	111
2.5.7. COMPARACION DE LOS DIFERENTES DEFECTOS.	113
2.6. ANÁLISIS DE CURVAS P-V CON MAS DE UN MÁXIMO	114
3. ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CONFIGURACION EN UN GENERADOR CREADO MEDIANTE MUESTRAS ALEATORIAS.	117
3.1. INTRODUCCIÓN.	117
3.2. INFLUENCIA DEL Nº DE MÓDULOS EN SERIE.	118
3.3. INFLUENCIA DEL Nº DE SERIES.	120
4. EFECTO DE INTRODUCIR CABLEADOS INTERMEDIOS.	123
4.1. INTRODUCCIÓN.	123
4.2. TIPOS DE CONEXIONES INTERMEDIAS A ANALIZAR.	123
4.2.1. CONEXIÓN "RED".	123
4.2.2. CONEXIÓN "PARALELO DE N MÓDULOS".	126
4.2.3. CONEXIÓN "PARALELO DE 2 MÓDULOS".	128
4.3. EN FUNCIÓN DEL TIPO DE DEFECTO (CABLEADOS APLICADOS DIRECTAMENTE SOBRE EL MÓDULO DEFECTUOSO).	131
4.3.1. INTRODUCCIÓN.	131
4.3.2. DEFECTOS EN TENSIÓN.	131
4.3.3. DEFECTOS EN CORRIENTE	134
4.3.4. COMPARACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CONEXIONES INTERMEDIAS PARA DIFERENTES TIPOS DE DEFECTO.	139

4.4. EN GENERADORES CREADOS MEDIANTE MUESTRAS ALEATORIAS.	140
4.4.1. INTRODUCCIÓN.	140
4.4.2. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “RED”.	140
4.4.3. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “RED POR PAREJAS.”	142
4.4.4. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “PARALELO DE N MÓDULOS”.	144
4.4.5. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “PARALELO DE 2 MÓDULOS”.	144
4.4.6. COMPARACIÓN DE VARIOS GENERADORES DISTINTOS.	146
 5. ANÁLISIS DE UN CASO REAL.	 149
5.1. INTRODUCCIÓN.	149
5.2. GENERADORES <i>YINGLI</i> 10sx4p CON UN SOLO MÓDULO DEFECTUOSO.	150
5.3. GENERADORES <i>YINGLI</i> 10sx4p CON DOS MÓDULOS DEFECTUOSOS EN UNA MISMA SERIE.	153
5.3.1. DOS MÓDULOS DEFECTUOSOS IDENTICOS.	153
5.3.2. DOS MÓDULOS DEFECTUOSOS DISTINTOS.	159
5.4. DETERMINACION DE LAS PÉRDIDAS EN GENRADORES <i>YINGLI</i> 10SX4P EN FUNCION DEL Nº DE “STRINGS” DETERIORADOS.	163
 6. CONCLUSIONES.	 168
6.1. SOBRE LA INFLUENCIA DE UN MÓDULO DEFECTUOSO.	168
6.2. SOBRE LA INFLUENCIA DEL Nº DE MÓDULOS EN SERIE Y SERIES.	169
6.3. SOBRE LA APARICION DE MAS DE UN MAXIMO EN LA CURVA P-V DEL GENERADOR.	170
6.4. SOBRE LA INTRODUCCION DE CABLEADOS INTERMEDIOS.	170
6.5. SOBRE MÓDULOS <i>YINGLI</i> DEFECTUOSOS.	170
 7. LINEAS FUTURAS.	 172
 8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.	 173

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

1.1. ANTECEDENTES.

Diversos estudios [GAR 08], [MUÑO 09] han revelado que, dentro de una misma central fotovoltaica se pueden tener diferencias de potencia *CEM* entre generadores cercanas al 5%. Las causas asociadas a tales diferencias pueden ser varias:

En primer lugar, la potencia *CEM* de un generador depende de la potencia de cada uno de los módulos que lo componen y también de la forma en la que se conecten dichos módulos. Normalmente, los módulos presentan una potencia real inferior al valor nominal dado por los fabricantes y además dicha potencia suele ser diferente en cada uno de ellos. De ahí que una parte de las diferencias de potencia entre los generadores se deba a la diferencia de potencia de los módulos que lo forman.

Además, la potencia *CEM* de un generador no se corresponde exactamente con la suma de potencias de cada uno de sus módulos. Esto se debe a las pérdidas por dispersión o “mismatch losses”. Las pérdidas por dispersión o desacople son las que surgen de la dispersión de parámetros en la fabricación al asociar diversos módulos en serie o paralelo

En el PFC [MUÑO 09] se intentó identificar cuál de esas causas era la más determinante y estudiar la influencia de dos posibles soluciones que tenían por objeto reducir las pérdidas por “mismatch”:

- Reagrupación de módulos (efecto de ordenar según potencia *CEM*, corriente...)
- Conexión serie paralelo de todo el generador mediante un cableado intermedio (Configuración de “Red”).

Se pretendía, en definitiva, aumentar la eficiencia de los generadores fotovoltaicos de una planta sin que ello supusiera un incremento importante en el coste.

Únicamente se analizó la huerta de Castejón. Las principales conclusiones de dicho análisis pueden resumirse en las siguientes:

- Las pérdidas por dispersión en ausencia de módulos defectuosos están en torno a 0.5-0.6%. En aquellos casos en los que coincidan en una misma serie módulos con potencia especialmente baja y módulos con potencia especialmente alta, las pérdidas por dispersión pueden estar en torno al 1.5%. Si se tienen módulos defectuosos las pérdidas por dispersión pueden superar el 2%.

- En la mayor parte de los módulos defectuosos lo que se observa es un bajo valor de factor de forma (F.F.). También se detectó algún módulo con tensión de circuito abierto inferior a la del resto de módulos (con un cortocircuito en uno de los diodos de paso). Es extraño encontrar módulos con una corriente de cortocircuito muy inferior al resto (debido a la presencia de los diodos de paso).
- Los generadores de potencia *CEM* más bajas suelen tener, en general, módulos de potencia más baja que el resto de generadores (i.e. su baja potencia no suele estar relacionada con un incremento de las pérdidas por dispersión). Aquellos generadores que destacan del resto por una baja potencia suelen presentar módulos defectuosos y debido a ello suelen presentar mayores pérdidas por dispersión.
- Puesto que las pérdidas por dispersión son más bien pequeñas, la mejora teórica de la potencia, que se obtiene reordenando los módulos o bien mediante el uso de un cableado intermedio (configuración de "Red") es más bien modesta (entre el 0.1 y el 1.6% según el caso). Parece que con el uso del cableado intermedio se podría reducir las pérdidas que ocasionan los módulos defectuosos.

1.2. OBJETIVOS.

Como ya se ha dicho, una de las principales conclusiones del proyecto [MUÑ 09] fue que las pérdidas por dispersión en un generador son pequeñas (en torno al 0.5-0.6%), pero se detalló que estas podían aumentar (llegando a superar el 2%) con la presencia de módulos defectuosos. En el presente proyecto se pretende analizar cómo influyen dichos módulos defectuosos en las pérdidas. Se pretende determinar qué factores afectan en dicha influencia, con el fin de comprender mejor el comportamiento del generador como conjunto de módulos (por ejemplo: tipo o magnitud de defecto, configuración del generador...).

En [MUÑ 09] se hizo también una simulación para ver la influencia de introducir un cableado intermedio entre diferentes módulos. Se comprobó (de forma teórica) que, dado que las pérdidas por dispersión son, en general, pequeñas, la mejora que se obtenía utilizando esta técnica era pequeña. No obstante, sí parece útil el uso de este tipo de conexionado cuando aparecen módulos defectuosos. Otro de los objetivos del presente proyecto es seguir analizando el efecto y la viabilidad de los cableados intermedios. Se plantea analizar el uso de un número más pequeño de este tipo de conexiones (con objeto de reducir el gasto) e incluso ver el efecto de utilizar únicamente este cableado intermedio en aquellas zonas del generador donde se detecten módulos con defectos.

Además, se pretende corroborar todo lo analizado teóricamente de forma práctica mediante trabajo en campo.

2. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE UN MÓDULO DEFECTUOSO.

2.1. INTRODUCCIÓN.

El objetivo de este apartado es conocer el modo de trabajo de los generadores F.V. y de los módulos que los forman. En definitiva, conocer sus puntos de trabajo y las pérdidas de potencia que se dan en diferentes situaciones.

Se analizará el efecto que produce un módulo defectuoso en un generador y en los módulos que lo forman en función de la magnitud y tipo de defecto. Así como la influencia de una variación en la configuración del generador (número de módulos conectados en serie o en paralelo).

Para ello se comenzará por realizar un análisis sobre generadores 9sx4p (ya que esta es una configuración muy frecuente en las huertas F.V.). Dicho análisis permitirá conocer la influencia de un módulo defectuoso en el comportamiento de un seguidor y de los módulos que lo forman, así como las pérdidas que ocasiona.

Seguidamente se ampliará el análisis para diferentes configuraciones de seguidor.

Las pérdidas totales en dichos análisis se medirán mediante el porcentaje que disminuye la potencia de trabajo frente a la suma de potencias nominales de los módulos que componen un seguidor. Y las pérdidas por dispersión se obtendrán como el porcentaje que disminuye la potencia de trabajo frente a la suma de potencias máximas cuando el seguidor tiene un módulo defectuoso.

2.2. PUNTOS DE TRABAJO.

Para poder inyectar potencia a la red, cada uno de los generadores está conectado a un inversor DC/AC. Estos inversores incorporan un algoritmo de control (MPPT, "Maximum Power Point Tracking") que asegura en todo momento que el generador está trabajando en su punto de máxima potencia

El punto de máxima potencia impone los valores de corriente y tensión del generador, lo que requiere la adecuación de los puntos de trabajo de los módulos que lo componen a las condiciones impuestas.

La tensión de trabajo de todos los módulos que componen una serie de un seguidor debe sumar la tensión impuesta por el convertidor. Del mismo modo, la suma

de todas las corrientes de las series debe sumar la corriente total de trabajo del generador.

Cuando todos los módulos de un generador son iguales (tienen la misma curva I-V) todos ellos trabajan en su punto de máxima potencia para cumplir las condiciones impuestas por el *MPPT* del inversor. En cambio, cuando uno de los módulos de un seguidor tiene un defecto (i.e. su curva I-V no es como la del resto) no se puede conseguir que todos los módulos trabajen en su punto de máxima potencia. Esto implica una variación de los puntos de trabajo de los módulos que comparten series con el módulo defectuoso y/o de los del resto.

Las pérdidas totales por dispersión no dependerán del número de módulos que vean modificado su punto de trabajo, sino también de la magnitud de dicha modificación. Para disminuir estas pérdidas al mínimo posible, se busca un punto de equilibrio entre la modificación de la corriente de la serie defectuosa (para que la tensión de todas las demás varíe lo menos posible) y la variación de la tensión de las series (para que la corriente de la serie defectuosa varíe lo menos posible).

Como se demostrará en el presente apartado el lugar que ocupa este punto de equilibrio en la curva I-V del módulo defectuoso depende de la forma de dicha curva.

El análisis de los módulos dentro de un generador se realizará en función de los siguientes grupos:

- módulo defectuoso.
- módulos de la misma serie que el defectuoso.
- resto de módulos del generador.

No a todos ellos les afecta de igual forma la presencia de un módulo defectuoso.

En resumen, los módulos de un generador trabajan en puntos estratégicos para conseguir la máxima potencia del conjunto. Estos puntos no tienen por qué coincidir con su punto de máxima potencia y como consecuencia en los módulos aparecen pérdidas por dispersión, que varían en función del tipo y magnitud del defecto y del tipo de módulo al que afectan.

Finalmente hay que tener en cuenta que un módulo defectuoso en un generador no sólo provoca la aparición de pérdidas por dispersión. Además, si tenemos en cuenta la cantidad de energía que dicho módulo es incapaz de dar debido a su defecto, aunque trabaje en su punto de máxima potencia, se tendrán una serie de pérdidas debidas a la energía que este módulo genera.

2.3. TIPOS DE DEFECTOS.

La forma de las curvas I-V de los módulos defectuosos se ven modificadas de manera diferente en función de su defecto, proporcionando a dichos módulos unas características particulares.

En los generadores F.V. pueden aparecer módulos defectuosos por diversos motivos: suciedad, malas soldaduras etc. Según el tipo de defecto, la influencia en la potencia y en las pérdidas por dispersión va a ser diferente.

Se distinguen tres casos, que dan lugar a tres tipos de defectos: bajo factor de forma (F.F.), baja tensión de circuito abierto (Voc.) y baja corriente de cortocircuito (Isc.).

MÓDULOS F.V. CON BAJO FACTOR DE FORMA (F.F.).

El F.F. de un módulo es un valor indicativo de la deformación en la curva I-V de dicho módulo. Dicha deformación puede ser debida a diferentes motivos. En nuestro caso distinguiremos dos: Alta resistencia serie (Rs) y “strings”¹ con baja corriente.

- Alta resistencia serie.

Frecuentemente la aparición de una Rs alta es debida al mal estado de las soldaduras en las células.

Este defecto de fabricación supone un incremento de la resistencia al paso de la corriente, lo que provoca a su vez un aumento en la temperatura en la soldadura, y puede dar lugar a la aparición de “puntos calientes”.

Debido al efecto de la mayor Rs., la forma de la curva I.V del módulo presenta una menor pendiente en la zona de tensiones altas. Esta deformación en la curva I-V del módulo provoca a su vez una variación en la forma de la curva I-V del generador.

La Fig. 2.1. muestra un ejemplo correspondiente a la curva I-V de un módulo real con puntos calientes por defecto en las soldaduras.

¹. "String": conjunto de células asociadas a un mismo diodo de paso.

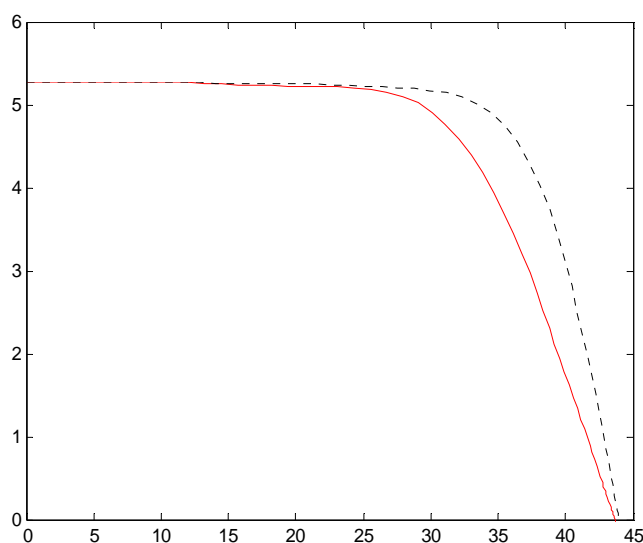


Fig.2.1. Curva I-V de módulo con puntos calientes.

- “Strings” con baja corriente.

Debido a la suciedad, al polvo, a la ruptura de células, etc. se puede ocasionar una deformación en la curva I-V de un módulo F.V., y por lo tanto en la curva I-V de un generador, haciendo que su corriente disminuya.

Cada uno de los “strings” de un módulo contiene varias células en serie, cortocircuitadas por un diodo de paso. Este diodo puede entrar en funcionamiento cuando una (o varias) de las células está deteriorada o simplemente sucia (muy baja en corriente).

Con el diodo de paso en funcionamiento, dicha célula absorbe la potencia generada por el resto de células de su “string” y tiende a calentarse.

Cuando uno de estos diodos se cortocircuita, la tensión del “string” correspondiente se anula y la corriente del resto de células del módulo ya no se ve limitada por la corriente de la célula defectuosa. Por ello, la curva I-V de un módulo que presenta este tipo de defecto se caracteriza por tener varios escalones de corriente (ver figura 2.2.)

La Fig.2.2. muestra un ejemplo de un módulo real con este tipo de defecto.

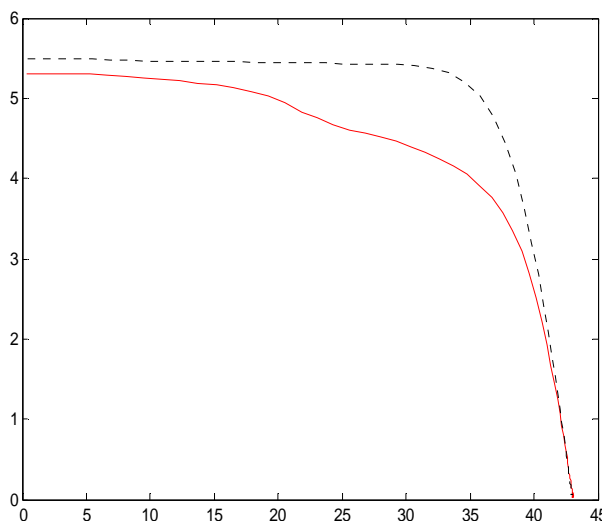


Fig.2.2. Curva I-V de un módulo con "strings" con baja corriente.

MÓDULOS F.V. CON BAJA TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO (Voc.).

Debido a las características de los diodos de paso, cuando se someten al paso de corrientes elevadas, pueden fundirse y quedan cortocircuitados. A efectos prácticos es como si las células cortocircuitadas por los diodos estropeados no existieran.

La anulación de estas células provoca una variación en la curva I-V del módulo, traducido en una disminución de la tensión de circuito abierto (Voc).

La Fig.2.3. muestra un ejemplo de un módulo real con este tipo de defecto.

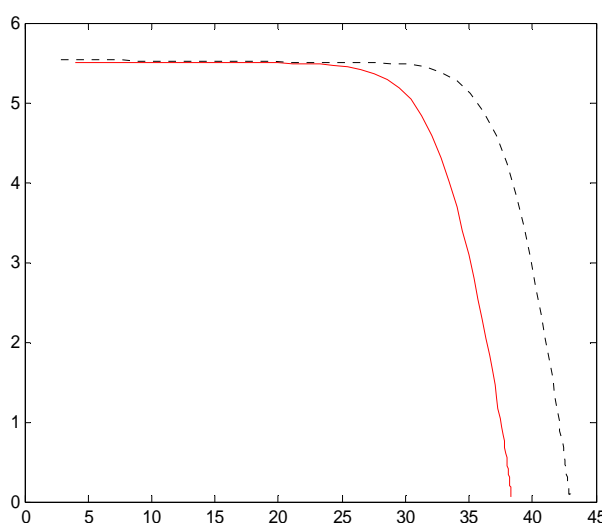


Fig.2.3. Curva I-V de un módulo con baja Voc.

MÓDULOS F.V. CON BAJA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (I_{sc})

La corriente de cortocircuito (I_{sc}) de un módulo fotovoltaico corresponde con la I_{sc} de su “string” más alto en corriente. Por lo tanto un módulo tendrá baja I_{sc} cuando todos sus “strings” estén bajos en corriente.

Con frecuencia, un generador F.V. sufre el efecto de sombreado debido a nubes, arboles cercanos, etc. Esto puede provocar la baja en corriente de todas las células de un módulo, o de parte de las células de cada “string”, lo cual se refleja en una baja I_{sc} del módulo.

La Fig.2.4. muestra un ejemplo de un módulo real con este tipo de defecto.

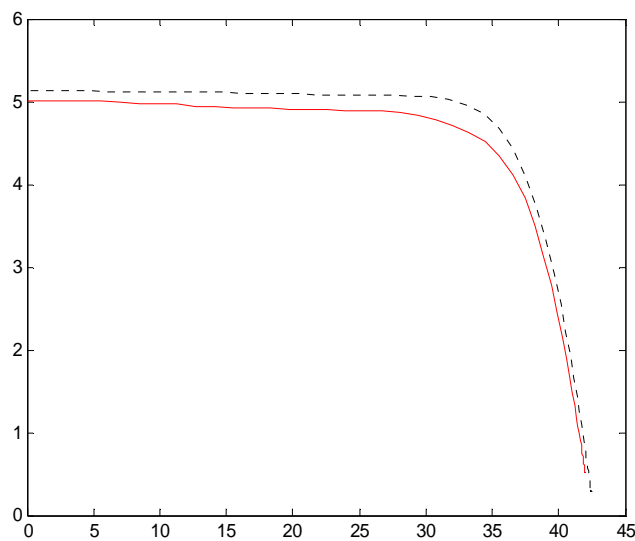


Fig.2.4. Curva I-V de un módulo con baja I_{sc} .

La Fig.2.5. muestra las curvas I-V de cuatro módulos, cada uno con un tipo de defecto.

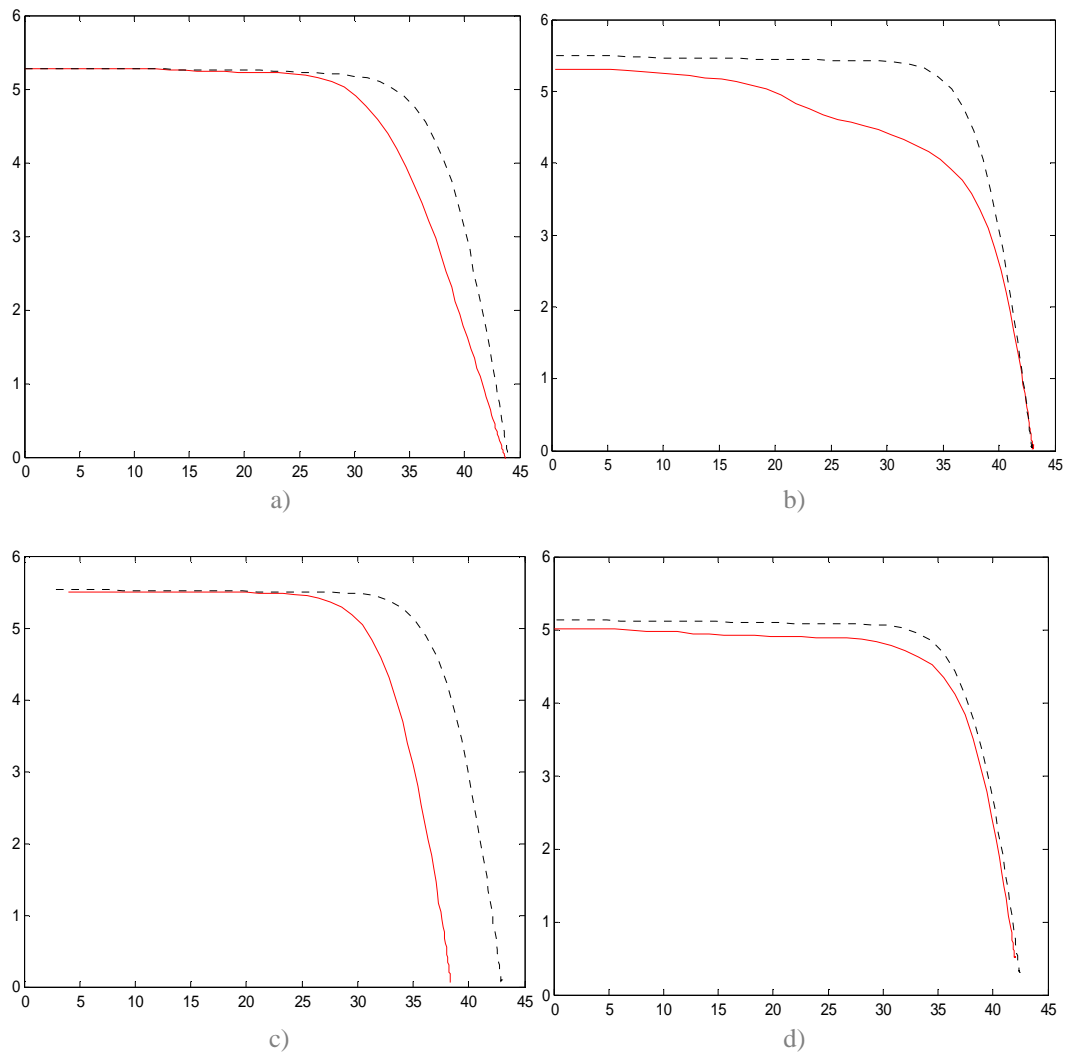


Fig.2.5. Curvas I-V de un módulos defectuosos.

- a) Módulo con alta R_s .
- b) Módulo con baja corriente en alguno de sus "strings".
- c) Módulo con baja V_{oc} .
- d) Módulo con baja I_{sc} .

2.4. ANÁLISIS PARA UNA CONFIGURACIÓN DE GENERADORES 9sx4p.

Se comenzará por analizar la influencia de un módulo defectuoso en las pérdidas por dispersión y totales de un seguidor formado por 4 series de 9 módulos conectadas en paralelo.

2.4.1. FACTOR DE FORMA BAJO.

2.4.1.1. RESISTENCIA DE SERIE ALTA.

Algunos módulos pueden presentar un valor grande de resistencia serie (y, por lo tanto, una variación de la forma de la curva I-V), cuando, por ejemplo, las soldaduras en un módulo F.V. no están hechas correctamente.

Utilizando el programa “Matlab” se ha llevado a cabo una simulación del punto de funcionamiento de un generador formado por 4 series de 9 módulos puestas en paralelo.

Todos los módulos se han considerado idénticos salvo uno de ellos, que presenta una resistencia serie superior (módulo defectuoso). En realidad se han considerado tres generadores diferentes, A, B y C, cada uno de ellos con un valor diferente de resistencia serie en el módulo defectuoso.

El módulo defectuoso con mayor resistencia serie corresponde al generador C y el módulo defectuoso con menor resistencia serie es el del generador A.

La Fig.2.6. muestra las curvas I-V y P-V- de estos módulos junto con sus respectivos puntos de trabajo y de máxima potencia, y sus pérdidas por dispersión en % de su Potencia nominal. A continuación se mostrarán su leyenda.

- Curva I-V del módulo con defecto.
- Curva I-V de los módulos perfectos del generador.
- - - Curva P-V de los mod. Perfectos. (Potencia (W/30))
- - - Curva P-V del módulo defectuoso. (Potencia (W/30))
- Punto de trabajo del módulo defectuoso.
- Punto de trabajo del resto de módulos.
- Punto de trabajo de los módulos de la serie defectuosa.
- * Punto de máxima potencia.

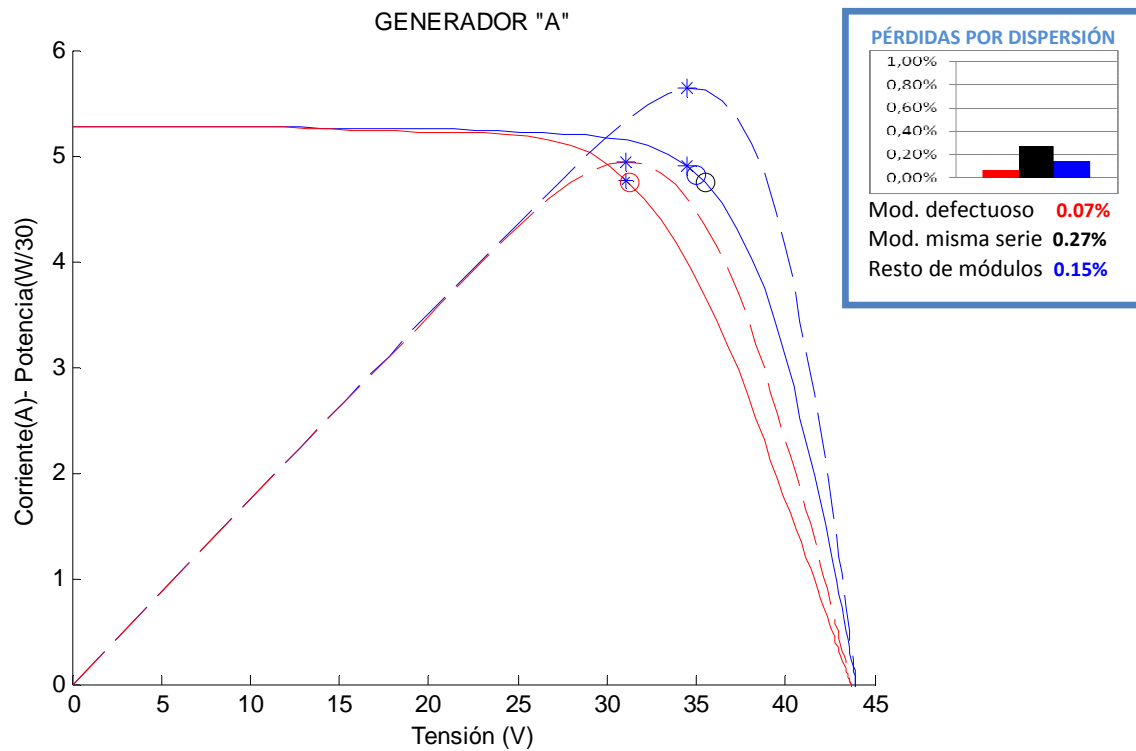


Fig.2.6. a) Curvas I-V y P-V del generador "A" y de sus módulo

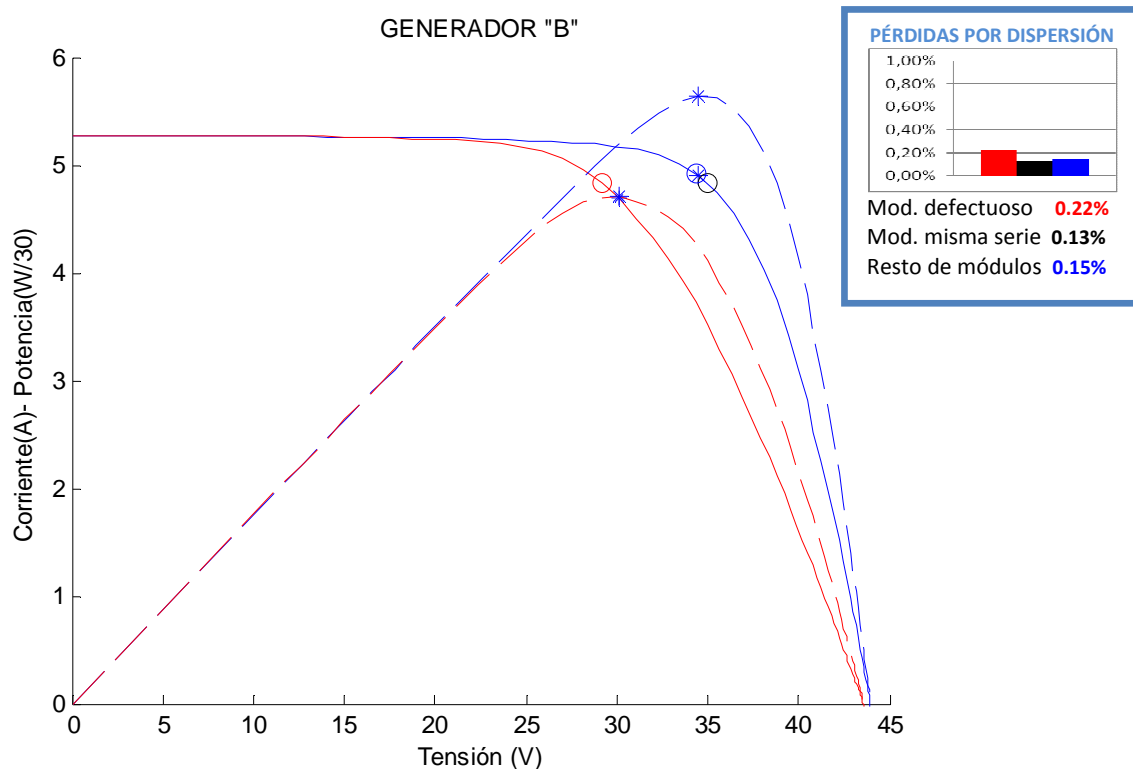


Fig.2.6. b) Curvas I-V y P-V del generador "B" y de sus módulos.

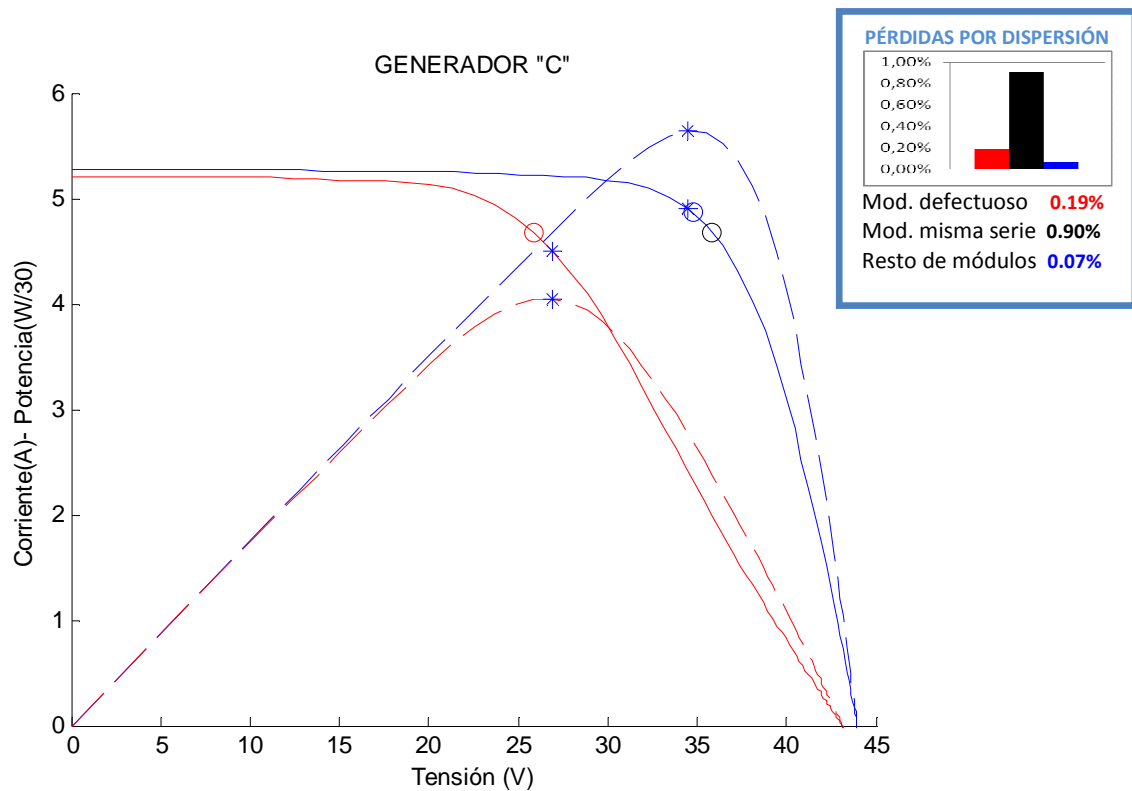


Fig.2.6. c) Curvas I-V y P-V del seguidor generador "C" y de sus módulos.

Las curvas I-V de los módulos con alta resistencia serie se caracterizan por tener una menor pendiente para tensiones altas, es decir, la corriente empieza a caer para valores de tensión inferiores. Conforme mayor es dicha resistencia serie, antes empieza a caer la corriente, y menos pronunciada resulta la pendiente.

El punto de máxima potencia del módulo defectuoso se da a una corriente inferior a la corriente del punto de máxima potencia del resto de módulos. Los módulos con este tipo de defecto no ocasionan grandes pérdidas por dispersión en los módulos que no pertenecen a su serie, y dichas pérdidas provienen, en su mayoría, de los módulos que comparten serie con él. Se modifica la corriente de la serie del módulo defectuoso para variar lo menos posible la tensión de las demás series.

Debido a las características de las curvas I-V de los módulos con alta R_s , las pérdidas por dispersión en el módulo defectuoso tienden a ser pequeñas, ya que su punto de máxima potencia se da a una corriente próxima a la de trabajo de la serie defectuosa.

Las pérdidas totales y las pérdidas por dispersión del generador aumentan considerablemente conforme aumenta el valor de la resistencia serie, debido, fundamentalmente, a que los módulos de la serie defectuosa se ven forzados a trabajar a tensiones cada vez más alejadas de su PMP. La tabla.2.1. y la Fig.2.7. muestran dichas pérdidas en % de la potencia nominal del generador.

Tabla.2.1. Pérdidas por dispersión y totales de los tres generadores.

	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
	$(\sum P_{\max} - P_{\text{con_def}})/P_{\text{nom}}$	$(\sum P_{\max_sindef} - P_{\text{con_def}})/P_{\text{nom}}$
Generador A	0,15%	0,49%
Generador B	0,13%	0,59%
Generador C	0,24%	1.03%

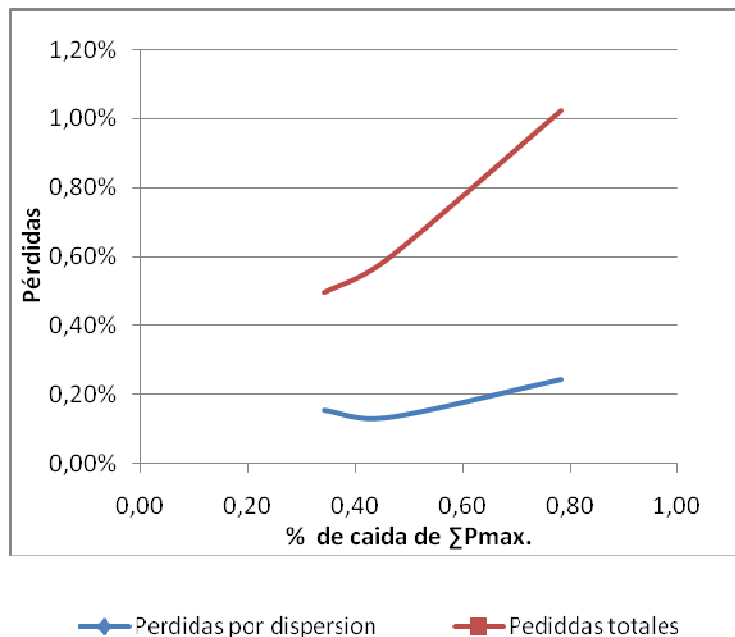


Fig.2.7. Pérdidas por dispersión y totales en función de la magnitud del defecto.

2.4.1.3. “STRINGS” CON BAJA CORRIENTE.

Si alguna de las células de un módulo F.V. está estropeada (o, simplemente, sucia) la corriente del “string” en el que se encuentra se ve limitada a un valor inferior al del resto de los “strings” del módulo. La presencia de diodos de paso en los módulos hace que este problema se manifieste en las curvas I-V como escalones en la parte en la que la corriente es más constante. El efecto es similar a tener una resistencia paralelo (R_p) baja.

Utilizando “Matlab” se han analizado 4 generadores diferentes A, B, C y D (9sx4p) formados por 35 módulos exactamente iguales y uno defectuoso. La Fig.2.8. muestra sus puntos de trabajo y de máxima potencia, y sus pérdidas por dispersión en % de su Potencia nominal.

El módulo defectuoso corresponde con un módulo con baja corriente en alguno de sus “strings”. El mayor grado de defecto de este módulo corresponde al generador D y el menor al generador A.

Los módulos “perfectos” de los cuatro generadores son módulos reales, cuyos datos han sido medidos. Mientras que solo el módulo defectuoso del generador “A” es real.

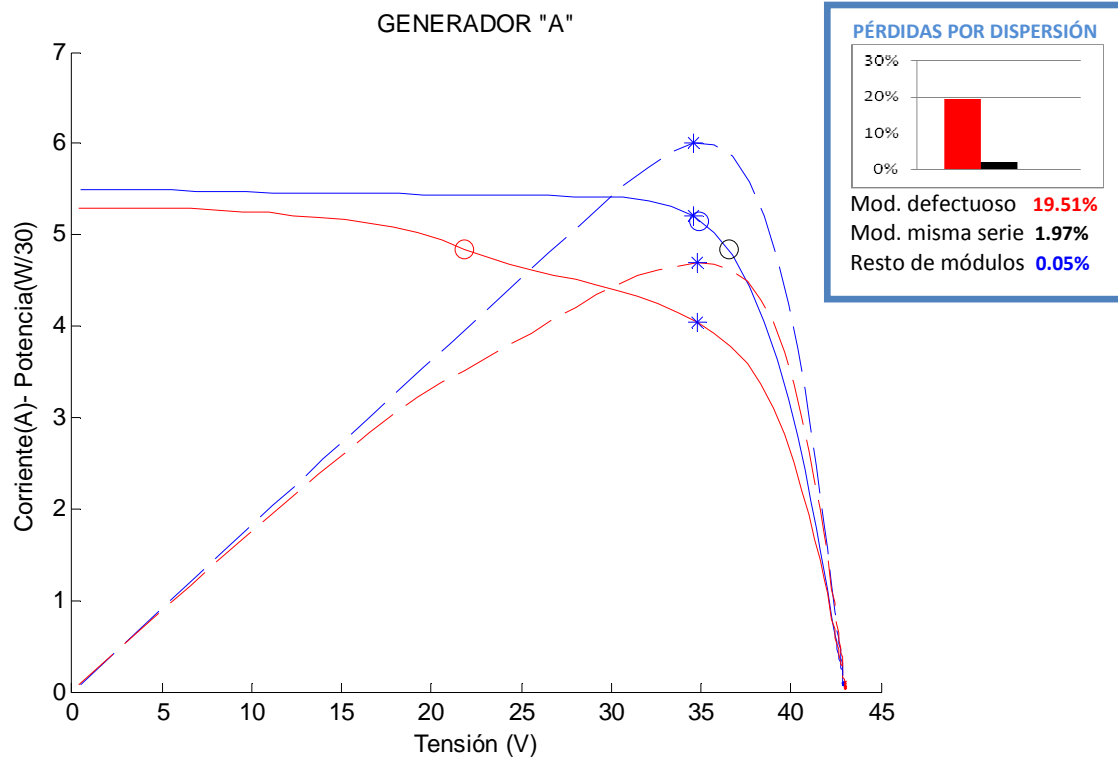


Fig.2.8. a) Curvas I-V y P-V del generador "A" y de sus módulos.

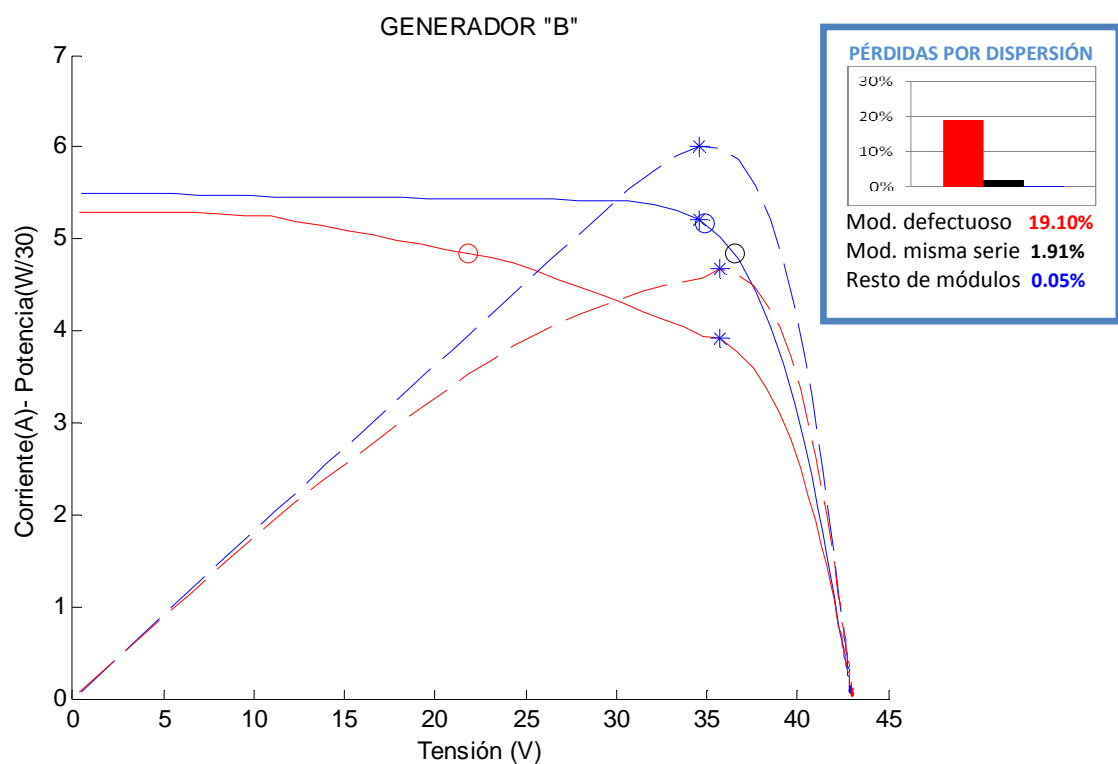


Fig.2.8. b) Curvas I-V y P-V del generador "B" y de sus módulos.

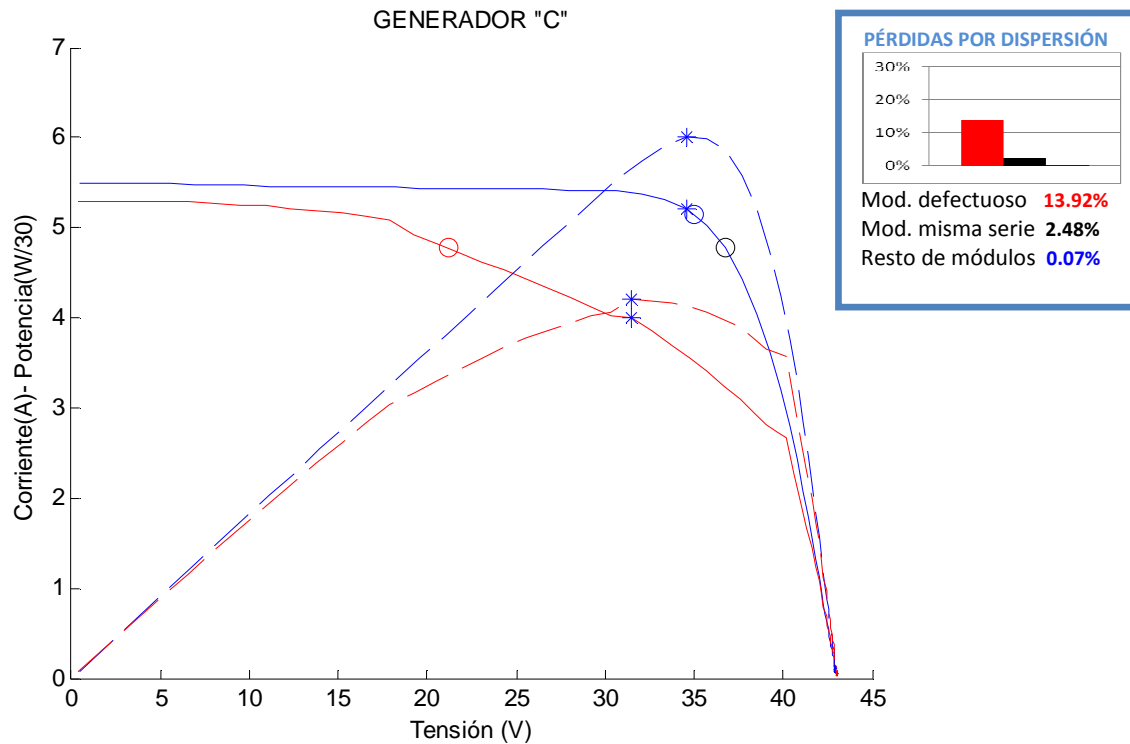


Fig.2.8. c) Curvas I-V y P-V del generador "C" y de sus módulos.

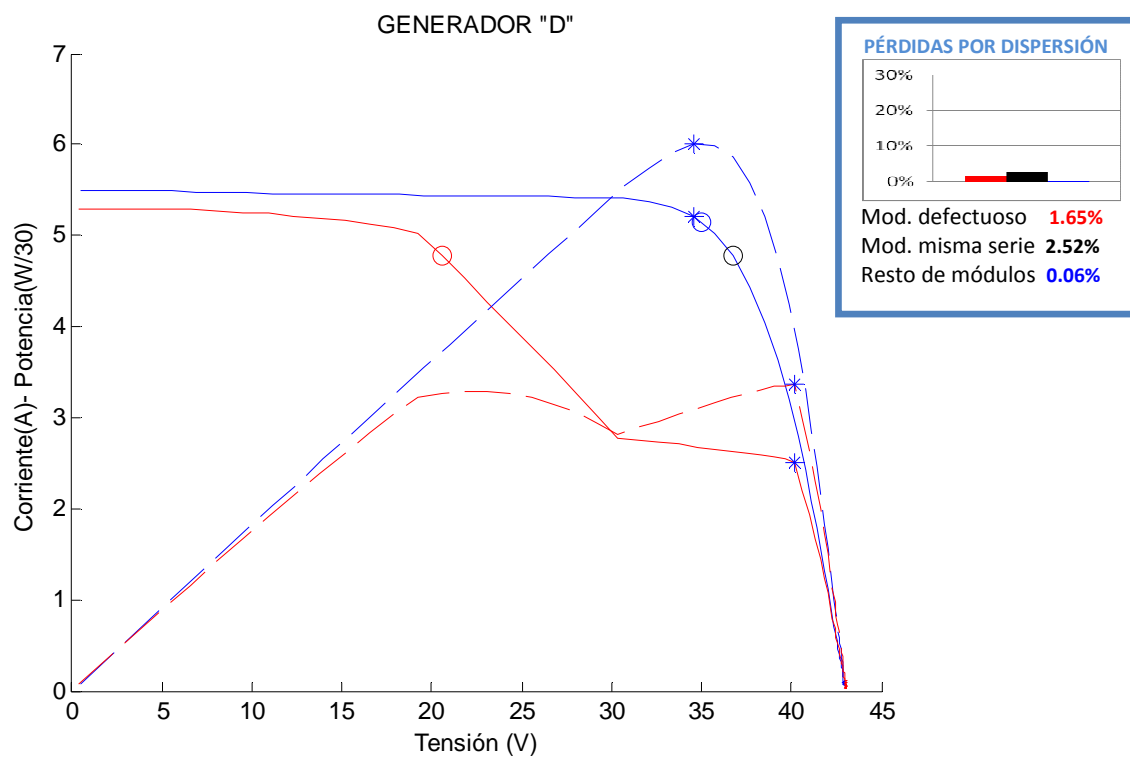


Fig.2.8. d) Curvas I-V y P-V del generador "D" y de sus módulos.

Las curvas I-V de los módulos con baja corriente en alguno de sus “strings” se caracterizan por tener escalones en corriente en la zona de la curva donde la corriente es más constante. Cuantos más “strings” estén deteriorados, aparecerán escalones a tensiones menores. Y cuanto mayor sea el grado de deterioro mayor será la caída en corriente.

El PMP del módulo defectuoso se da a una corriente muy inferior a la del PMP del resto.

La tensión de las series permanece prácticamente intacta. Para que no disminuya en exceso la corriente en la serie con el módulo defectuoso, el punto de trabajo de dicho módulo se aleja bastante de su punto de máxima potencia. Como su tensión se reduce bastante, el resto de módulos de esa serie debe aumentar su tensión, aumentando sus pérdidas por dispersión.

Como consecuencia, la mayor parte de las pérdidas por dispersión se deben a las pérdidas en el módulo defectuoso, y en segundo lugar a las de los módulos que comparten serie con él. Siendo prácticamente nulas las pérdidas en el resto de módulos.

Cuanto mayor es la magnitud del defecto menor es la cantidad de pérdidas por dispersión en el módulo defectuoso, ya que su potencia *CEM* también disminuye. Mientras que la de los módulos de su misma serie aumenta (las pérdidas totales aumentan pero las pérdidas por dispersión se reducen porque la curva de potencia se hace cada vez mas plana).

Como las pérdidas por dispersión principales en este tipo de generadores son las del módulo defectuoso, su disminución con forme aumenta la magnitud del defecto se ve reflejada en sus pérdidas por dispersión. Es decir, las pérdidas totales aumentan pero las pérdidas por dispersión se reducen.

Las pérdidas totales en el seguidor experimentan un ascenso conforme aumenta la magnitud del defecto, ya que la potencia perdida en el módulo defectuoso cada vez es mayor.

Tabla.2.2. Pérdidas por dispersión y totales en los cuatro seguidores.

	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
	$(\sum P_{\max} - P_{\text{con_def}}) / P_{\text{nom}}$	$(\sum P_{\max_sindef} - P_{\text{con_def}}) / P_{\text{nom}}$
Generador A	1.00%	1.60%
Generador B	0,97%	1.59%
Generador C	0,97%	1.80%
Generador D	0,63%	1.85%

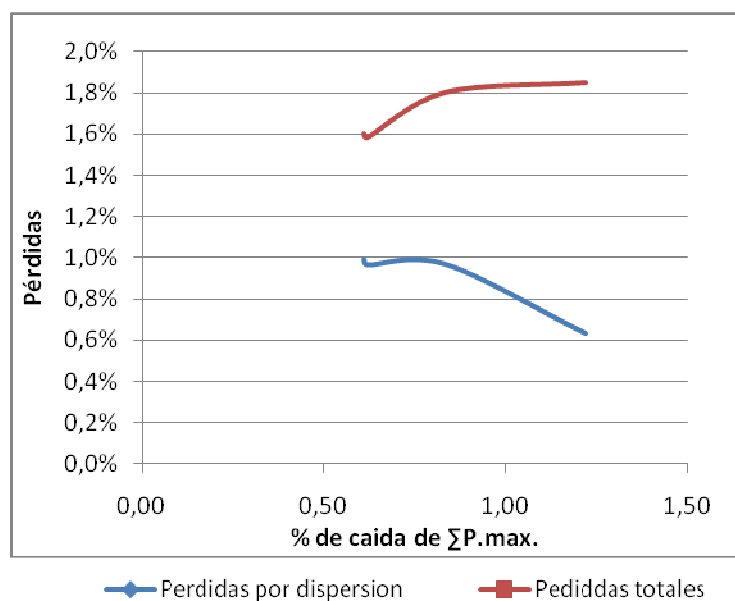


Fig.2.9. Pérdidas por dispersión y totales en función de la magnitud de defecto.

2.4.2. TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO BAJA.

Si por alguna razón los diodos de paso que incluyen los módulos F.V. se estropean, una parte del módulo queda cortocircuitada y no entrega potencia. La tensión de circuito abierto se reduce con valor igual la tensión del “string” con el diodo estropeado (la curva I-V del módulo es similar a la de un módulo sano pero con una Voc. inferior).

Utilizando el programa “Matlab” se ha llevado a cabo una simulación del punto de funcionamiento de un generador formado por 4 series de 9 módulos puestas en paralelo.

Todos los módulos se han considerado idénticos salvo uno de ellos, que presenta una tensión de circuito abierto inferior (módulo defectuoso). En realidad se han considerado cuatro generadores diferentes, A, B C y D, cada uno de ellos con un valor diferente de tensión de circuito abierto en el módulo defectuoso.

El módulo defectuoso con menor tensión de circuito abierto corresponde al generador D y el módulo defectuoso con mayor tensión de circuito abierto es el del generador A.

La Fig.2.10. muestra las curvas I-V y P-V- de estos módulos junto con sus respectivos puntos de trabajo y de máxima potencia, y sus pérdidas por dispersión en % de su Potencia nominal.

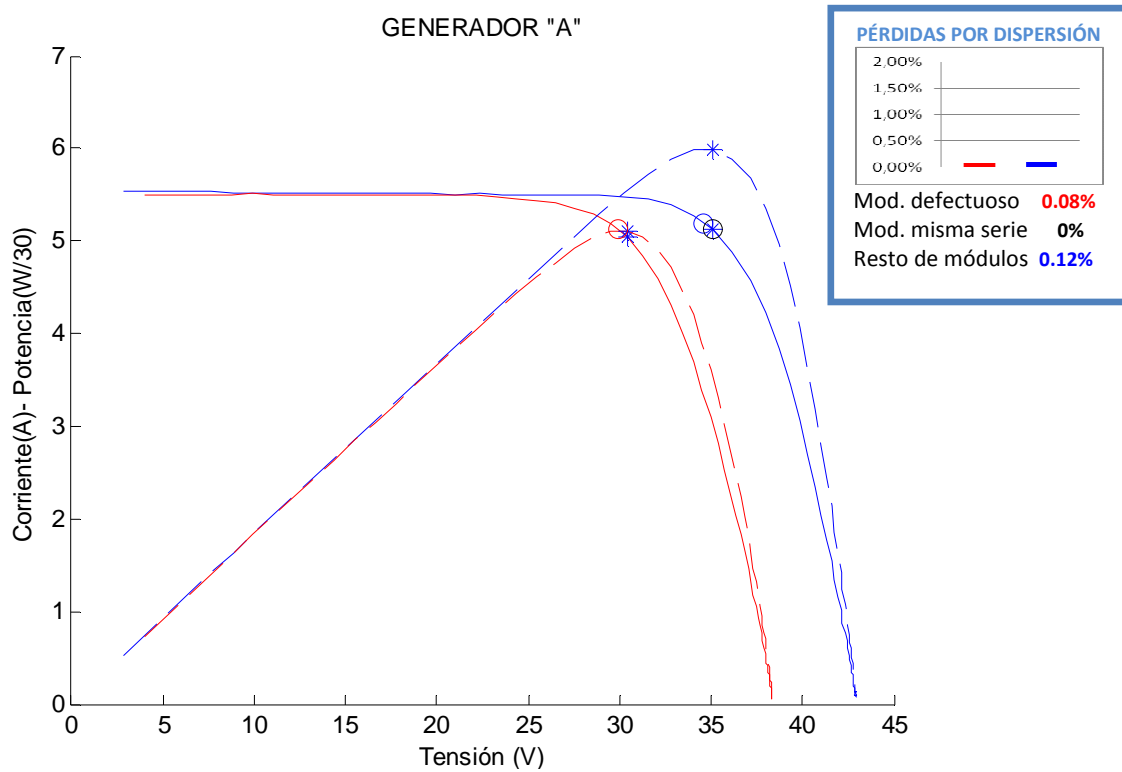


Fig.2.10. a) Curvas I-V y P-V del generador "A" y de sus módulos.

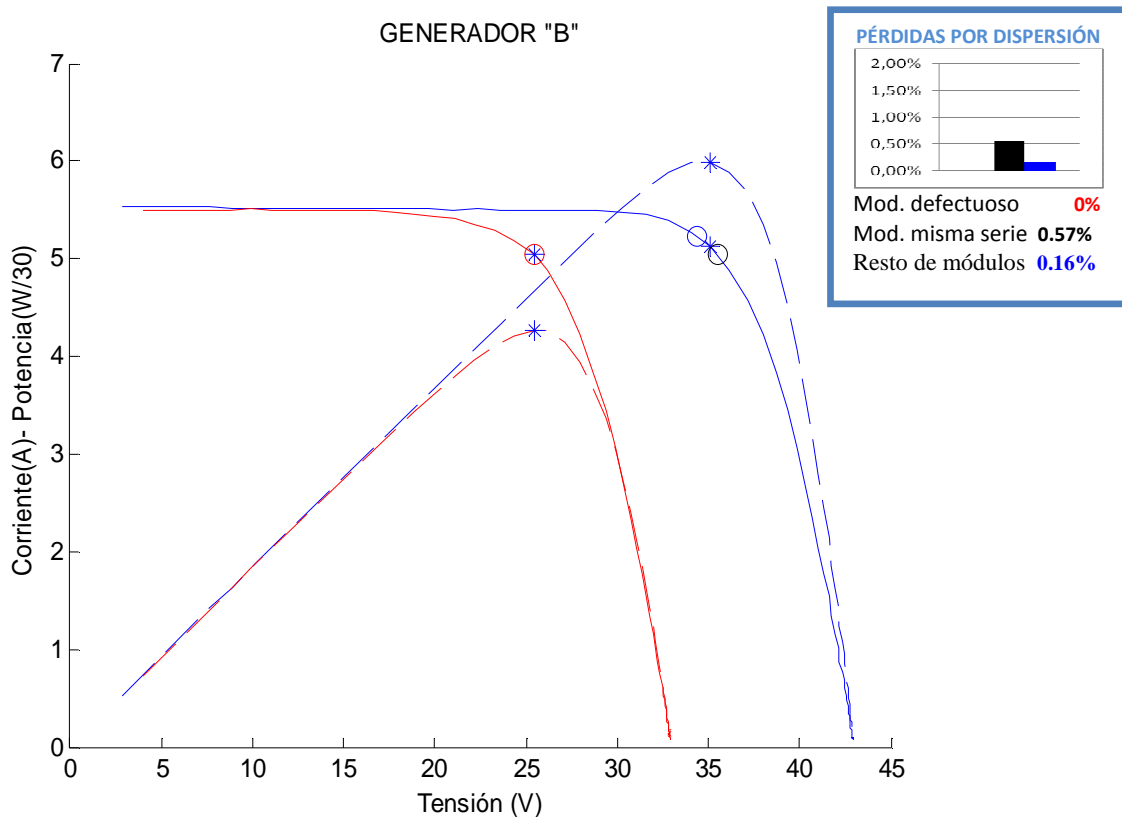


Fig.2.10. b) Curvas I-V y P-V del generador "B" y de sus módulos.

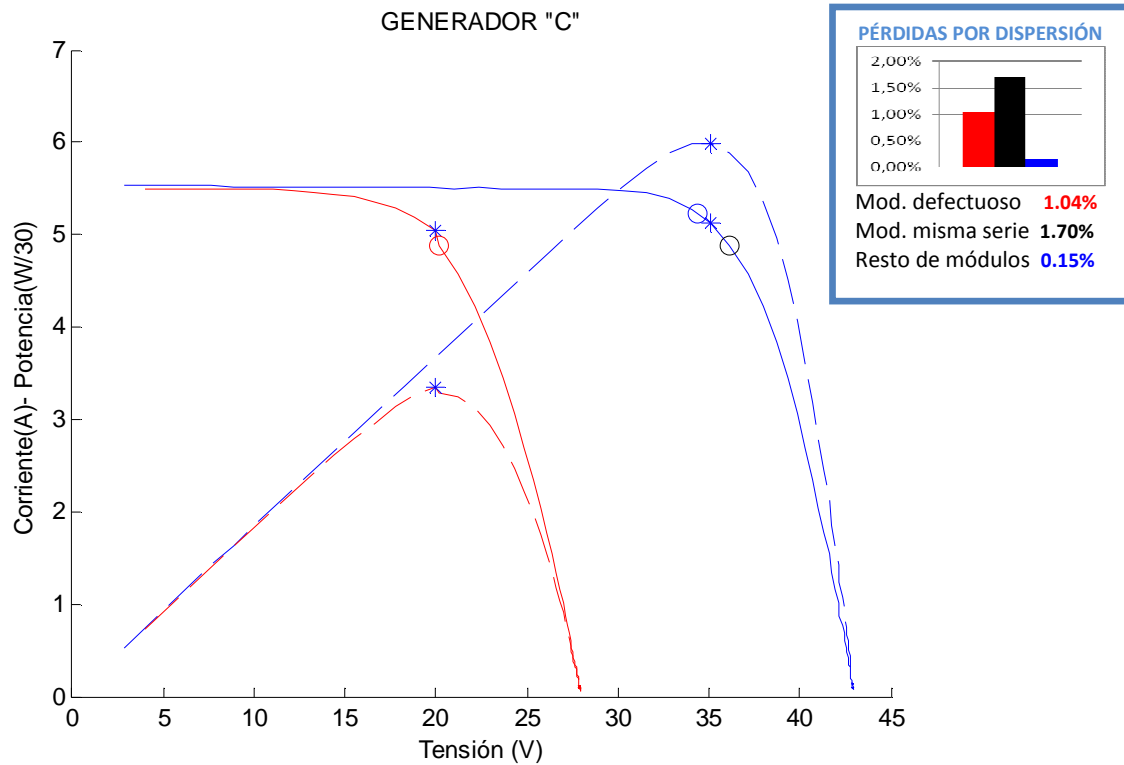


Fig.2.10. c) Curvas I-V y P-V del generador "C" y de sus módulos.

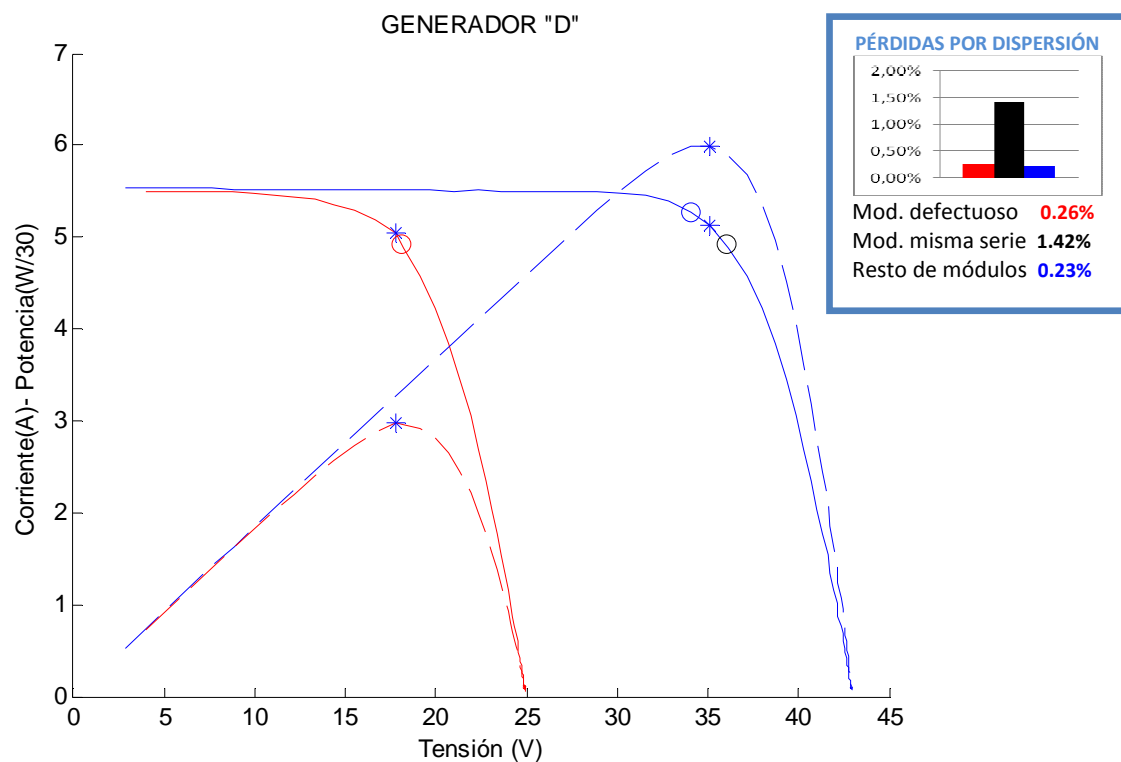


Fig.2.10. d) Curvas I-V y P-V del generador "D" y de sus módulos.

Con frecuencia son los módulos de la misma serie que el defectuoso los que más pérdidas por dispersión tienen, mientras que las del resto de módulos permanecen siempre en valores bajos.

Si la magnitud del defecto es pequeña, la potencia máxima del seguidor se consigue con una pequeña variación de la tensión de todas las series, que permite mantener la corriente de la serie defectuosa. Pero si el defecto es considerable, tanto la tensión de la serie como la corriente de la serie del módulo defectuoso varían.

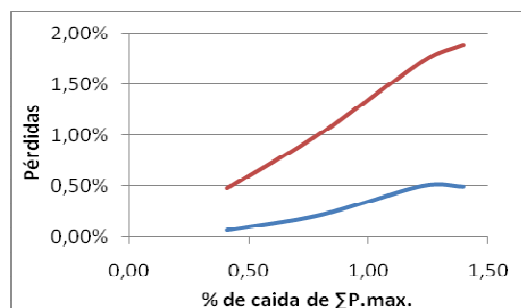
El punto de máxima potencia del módulo defectuoso se da a una corriente similar a la de un módulo “sano”. Por eso, para que la tensión de la serie defectuosa sea similar a la tensión del PMP del resto de series, tanto el módulo defectuoso como los módulos de su misma serie deben trabajar a una corriente inferior a la de su PMP. El descenso en corriente penaliza bastante la potencia de estos módulos. Por ello, la tensión de las series no es la del PMP de las series “sanas” sino un poco inferior. Esto provoca unas pequeñas pérdidas en las series con módulos “sanos”. No obstante, la mayor parte de las pérdidas por dispersión se dan en los módulos que comparten serie con el módulo defectuoso y también en este último.

Las pérdidas totales crecen de forma, aproximadamente, lineal con la magnitud del defecto, mientras que las pérdidas por dispersión crecen hasta un cierto grado de defecto y posteriormente tienden a estabilizarse.

Las pérdidas totales y las pérdidas por dispersión aumentan conforme aumenta la magnitud del defecto. A partir de cierta magnitud de defecto ambas tienden a estabilizarse, la primera en ~1.90% y la segunda en ~0.50%.

Tabla.2.3. Pérdidas por dispersión y totales en los cuatro seguidores.

	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
	$(\sum P_{\max} - P_{\text{con_def}}) / P_{\text{nom}}$	$(\sum P_{\max_sindef} - P_{\text{con_def}}) / P_{\text{nom}}$
Generador A	0,07%	0,48%
Generador B	0,22%	1.02%
Generador C	0,50%	1.73%
Generador D	0,50%	1.89%



—●— Pérdidas por dispersion —■— Pérdidas totales

Fig.2.11. Pérdidas por dispersión y totales en función de la magnitud de defecto.

2.4.3. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO BAJA.

Si un módulo tiene una corriente de cortocircuito baja, la forma de su curva I-V se verá modificada.

Utilizando "Matlab" se han analizado 5 generadores diferentes A, B, C, D y E (9sx4p) formados por 35 módulos exactamente iguales y uno defectuoso. La Fig.2.12. muestra los puntos de trabajo y de máxima potencia de dichos módulos junto a sus pérdidas por dispersión en % de su potencia nominal.

El módulo defectuoso corresponde con un módulo con baja corriente de cortocircuito. El mayor grado de defecto de este módulo corresponde al generador E y el menor al generador A.

Los módulos "perfectos" de los cinco generadores son módulos reales, cuyos datos han sido medidos. Mientras que solo el módulo defectuoso del generador "A" es real.

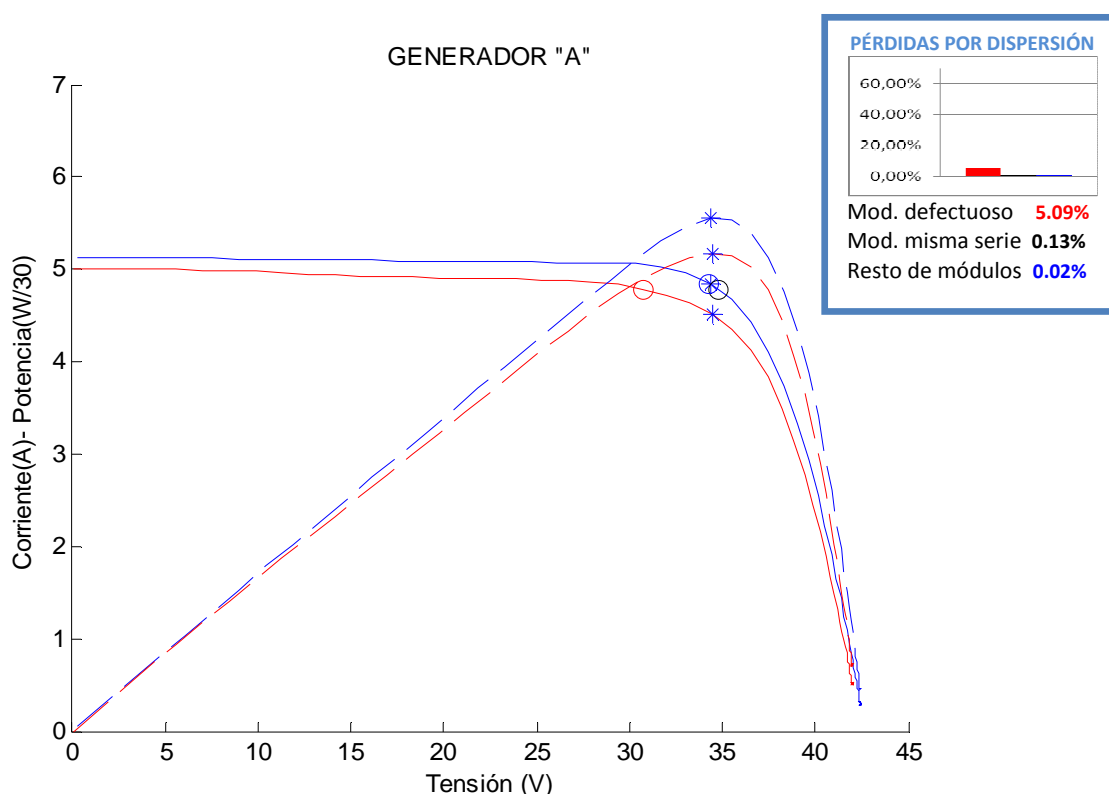


Fig.2.12. a) Curvas I-V y P-V de el seguidor "A" y de sus módulos.

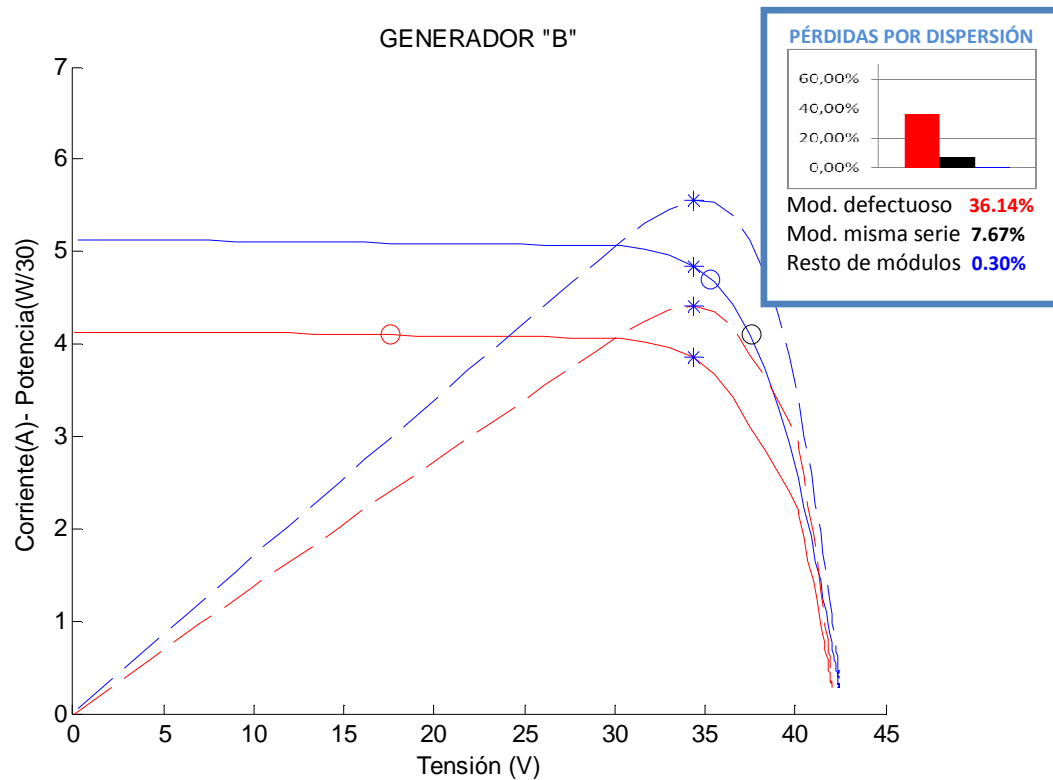


Fig.2.12. b) Curvas I-V y P-V de el seguidor "B" y de sus módulos.

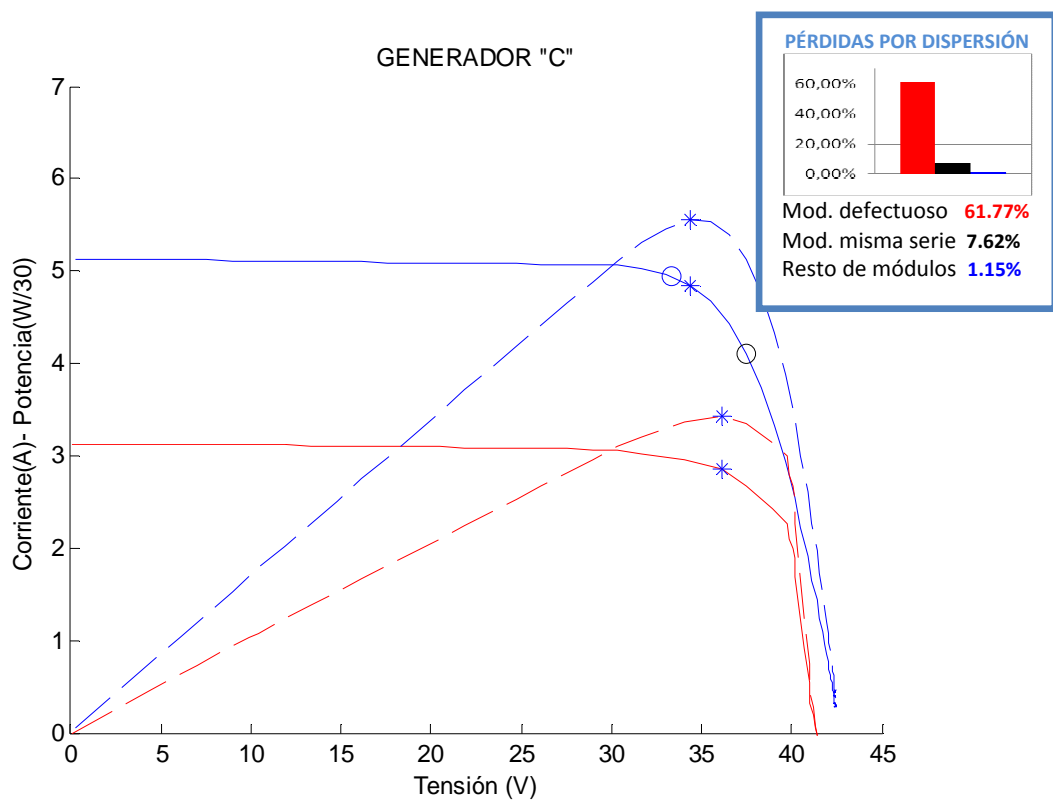


Fig.2.12. c) Curvas I-V y P-V de el seguidor "C" y de sus módulos

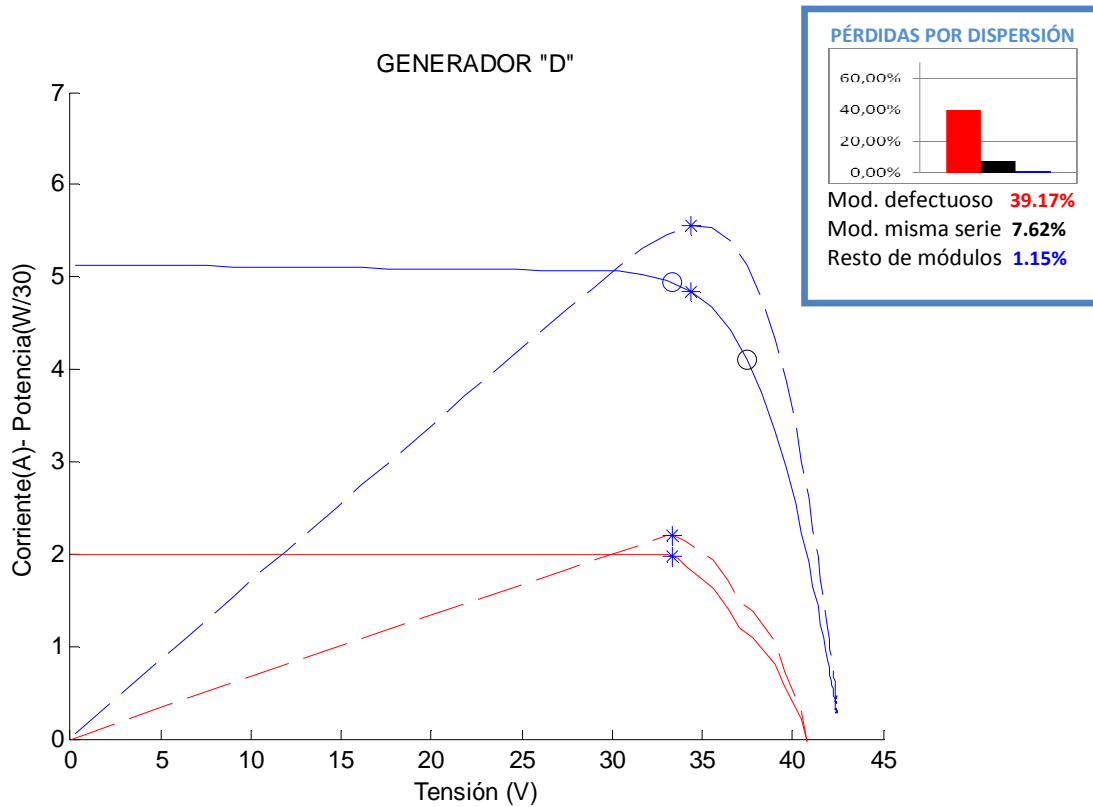


Fig.2.12. d) Curvas I-V y P-V de el seguidor "D" y de sus módulos.

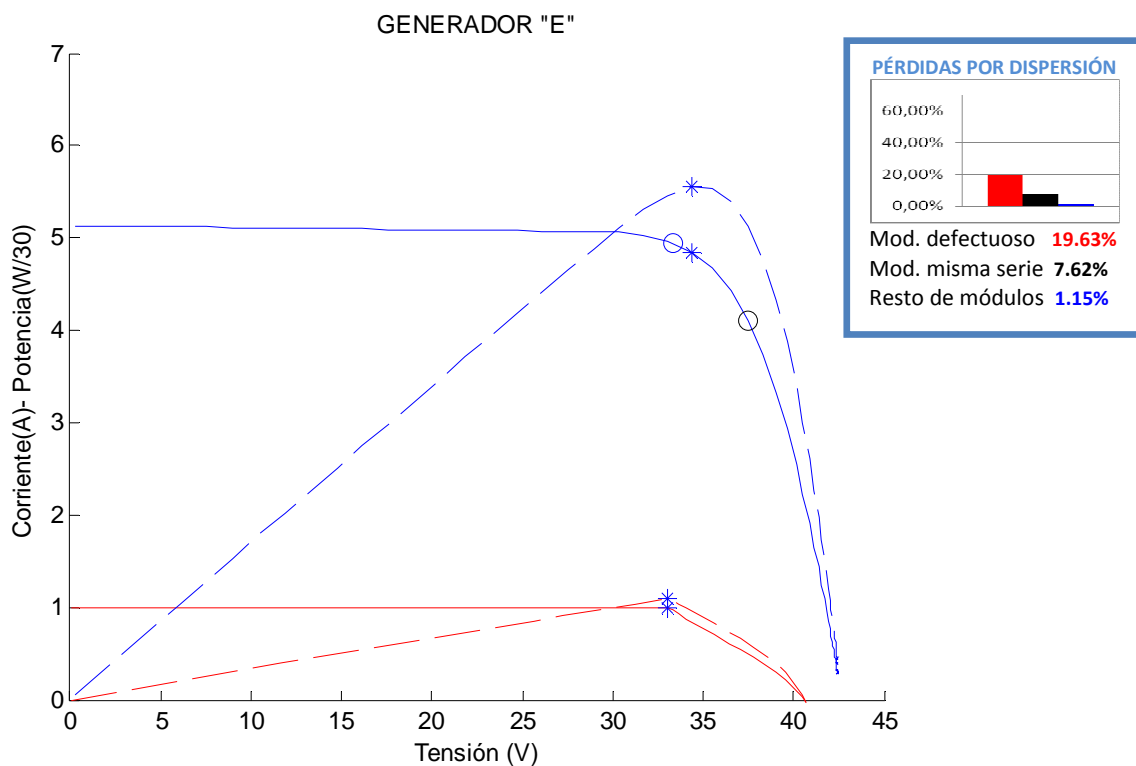


Fig.2.12. e) Curvas I-V y P-V de el seguidor "E" y de sus módulos.

Las curvas I-V de los módulos con baja I_{sc} , se caracterizan por tener, para un rango muy amplio de tensiones, unos valores de corriente mas bajos que los que tendría en ausencia del defecto. Cuanto menor es la I_{sc} . Menor será la corriente en dicho rango de tensiones.

Se distinguen dos situaciones: una en la que los diodos de paso están conduciendo y el módulo defectuoso deja de dar potencia y otra en la que los diodos no conducen y el módulo defectuoso trabaja a una tensión inferior a la de su PMP.

Cuando la magnitud del defecto no es muy grande, se tiende a mantener la tensión de la las series “sanas”. Por ello, los módulos de la serie defectuosa pasan a dar mas tensión que la de su PMP y el módulo defectuoso pasa a dar menos tensión que la de su PMP. La corriente de la serie, en esas condiciones es inferior a la de las series “sanas” (la corriente queda limitada por la I_{sc} . del módulo defectuoso). Sin embargo, cuanto mayor es la magnitud del defecto, mas debe modificarse dicha corriente y mas pérdidas se ocasionan en los módulos de la misma serie que el defectuoso. Si se alcanza un nivel de defecto muy elevado (% de caída de ΣP_{max} . del seguidor > 1.06%, en este caso.) es preferible prescindir de la potencia generada en el módulo defectuoso y evitar así un gran descenso en la generada por los módulos de su misma serie. Los diodos de paso entran entonces a conducir y se pierde la potencia del módulo defectuoso.

Las pérdidas totales en esa situación se estabilizan y las pérdidas por dispersión van disminuyendo debido a la potencia cada vez menor del módulo defectuoso. Así, para esos niveles de defecto en los que el módulo defectuoso trabaja, las pérdidas por dispersión principales son las de dicho módulo y las de los de su serie.

Tabla.2.4. Pérdidas por dispersión y totales en los cinco seguidores.

	PERDIDAS POR DISPERSION	PERDIDAS TOTALES
	$(\Sigma P_{max} - P_{con_def})/P_{nom}$	$(\Sigma P_{max_sindef} - P_{con_def})/P_{nom}$
Generador A	0,18%	0,37%
Generador B	2.93%	3.50%
Generador C	4.26%	5.32%
Generador D	3.65%	5.32%
Generador E	3.09%	5.32%

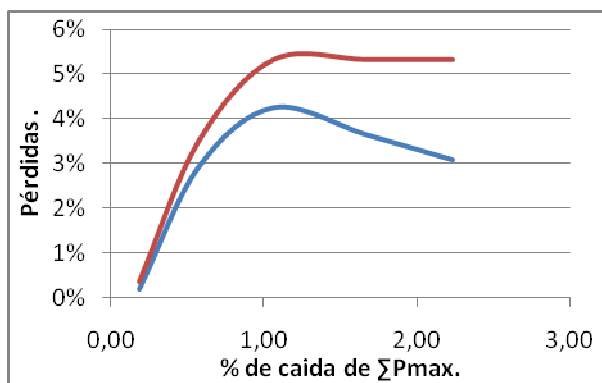


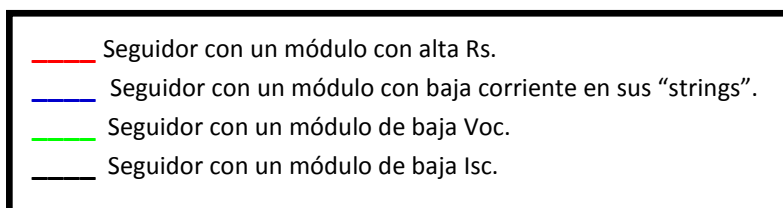
Fig.2.13. Pérdidas por dispersión y totales en función de la magnitud de defecto.

2.4.4. COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES DEFECTOS.

Como se ha visto hasta ahora, el valor de las pérdidas por dispersión y de las pérdidas totales en un generador (9sx4p) varía dependiendo de la magnitud y el tipo de defecto.

La Fig.2.14. a) muestra las pérdidas por dispersión de los seguidores analizados anteriormente provocadas por los diferentes módulos de diferentes tipos y defectos. Permite comparar las condiciones en que se ha analizado cada tipo de defecto y el efecto que cada uno de ellos supone. Del mismo modo, la Fig.2.14. b) permite comparar además sus pérdidas totales.

A continuación se muestra la leyenda para la interpretación de la Fig.2.14.



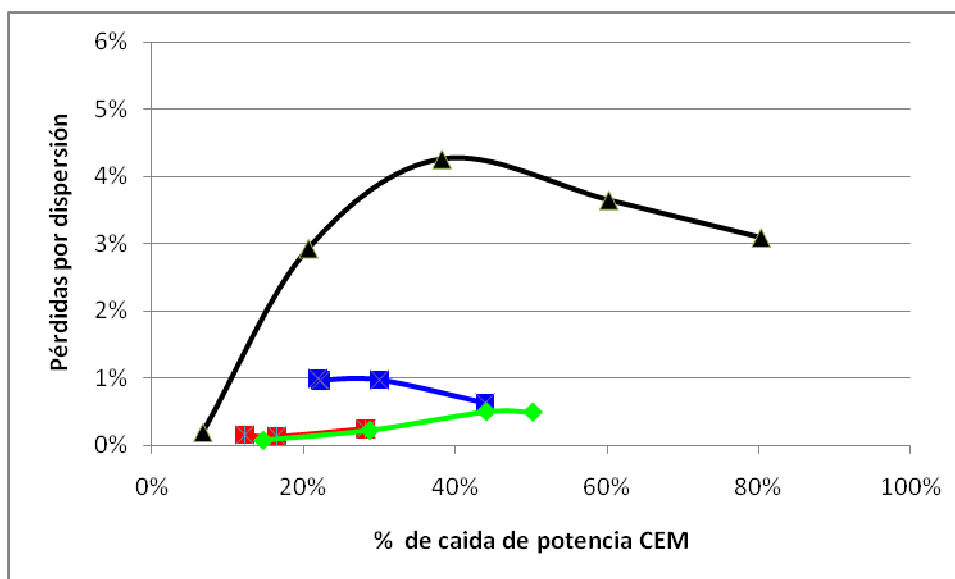


Fig.2.14. a) Pérdidas por dispersión de los seguidores en función de la magnitud de defecto para los diferentes defectos.

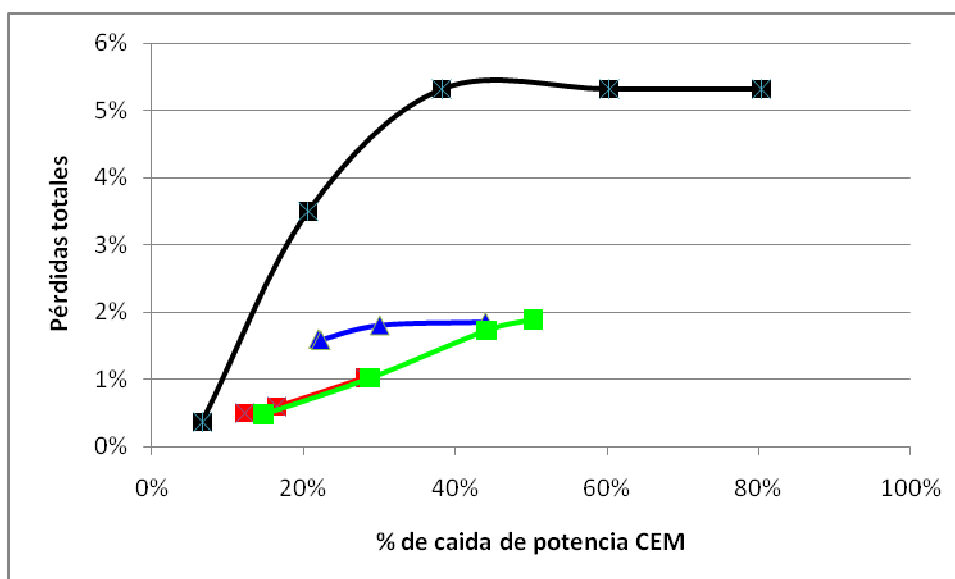


Fig.2.14. b) Pérdidas totales de los seguidores en función de la magnitud de defecto para los diferentes defectos.

Lo más destacable es que las pérdidas por dispersión y totales ocasionadas por módulos de baja Isc. son bastante más elevadas que las del resto, hasta 5 veces más en algunos casos.

Se podría concluir que los módulos con este tipo de defecto son los más peligrosos, pero se debe señalar que los módulos con baja Isc. que se suelen encontrar en las huertas solares no provocan más de un 0.25 % de caída en la suma de las potencias máximas en su seguidor, aunque el presente estudio se halla extendido hasta magnitudes de defecto muy grandes.

Si se agrupan los defectos en defectos en tensión (alta Rs. y baja Voc.) y defectos en corriente (algunos “strings” bajos en corriente y baja Isc.), se aprecia claramente como son los defectos en corriente los que mayores pérdidas generan, casi todas ellas procedentes del propio módulo defectuoso.

Las pérdidas por dispersión que caben esperar en seguidores de este tipo (9sx4p, 35módulos iguales y uno defectuoso) están entre 0.1 y 1%. Y las pérdidas totales entre 1.5 y 2%.

Para poder comparar directamente la influencia de cada tipo de defecto, se han creado cuatro generadores diferentes: GEN1, GEN2, GEN3 y GEN4. Cada uno de ellos consta de 35 módulos (9sx4p), de los cuales uno está deteriorado. En cada uno de los generadores este módulo deteriorado padece un defecto diferente pero con una misma magnitud de defecto en todos ellos, provocan una caída de la PCEM del módulo de entre 28 y 30%:

- GEN1: módulo defectuoso con alta Rs.
- GEN3: módulo defectuoso con baja Voc.
- GEN2: módulo defectuoso con algunos de sus “strings” bajos en corriente.
- GEN4: módulos defectuosos con baja Isc.

El resto de módulos de todos los generadores son iguales y considerados “perfectos”.

La Fig.2.15. muestra las curvas I-V y P-V de los módulos que componen cada uno de los generadores junto con sus puntos de trabajo y de máxima potencia, así como las pérdidas por dispersión y totales que cada uno de ellos genera.

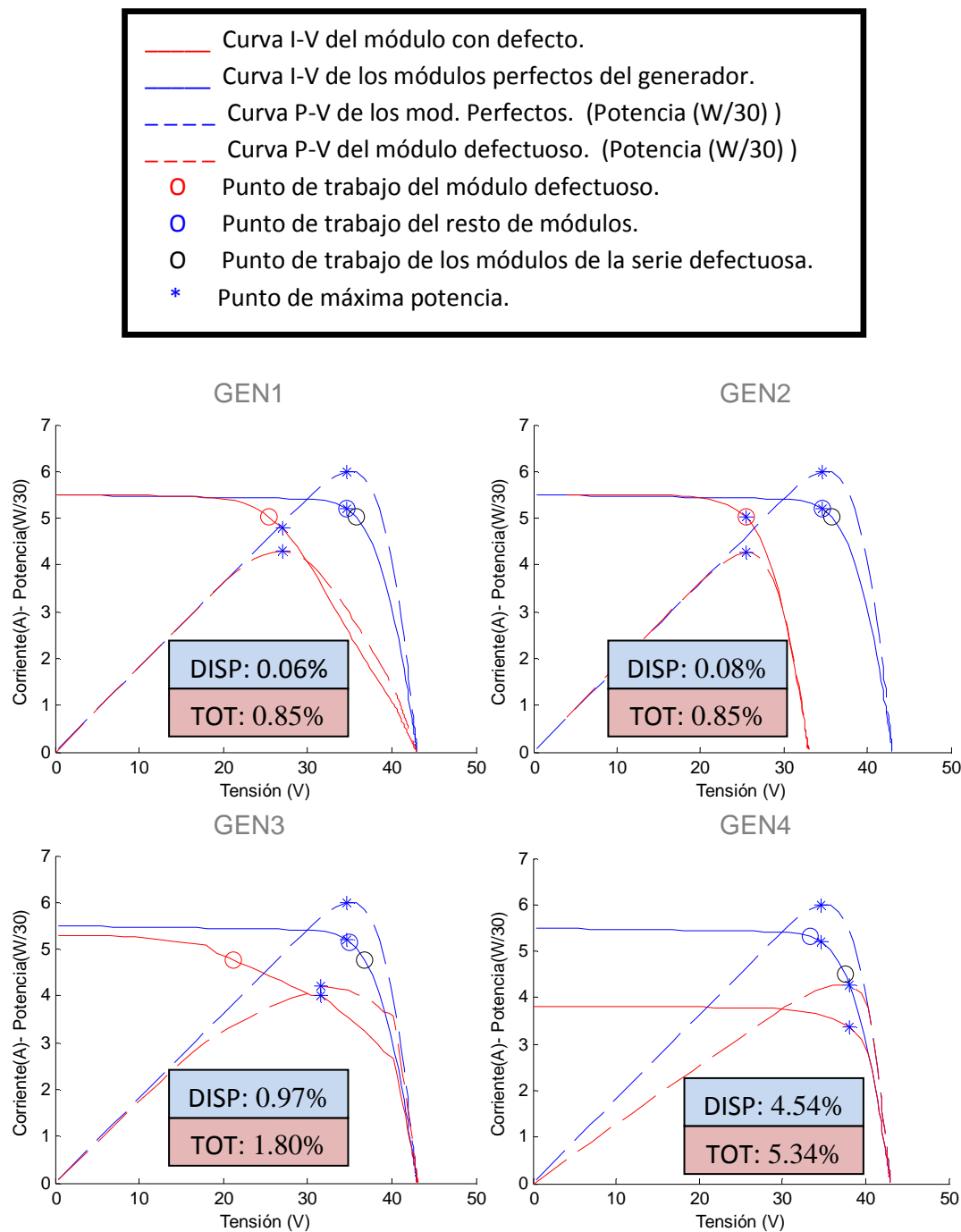


Fig.2.15. Curvas I-V y P-V de los módulos de cada generador.

Se aprecia cómo las modificaciones en los puntos de trabajo de los módulos son mayores en el caso de defectos en corriente (y por tanto también las pérdidas por dispersión) y cómo es el módulo defectuoso el que más se aleja de su PMP.

2.5. ANÁLISIS PARA OTRAS CONFIGURACIONES *s x p*.

2.5.1. INTRODUCCIÓN.

A continuación se analizará la influencia de un módulo defectuoso en las pérdidas por dispersión y totales de un generador y de los módulos que lo componen y su comportamiento en función del tipo y magnitud de defecto y de la configuración del generador.








Se han simulado, mediante Matlab, las curvas I-V de diferentes generadores compuestos de módulos similares a los del apartado anterior. Los generadores utilizados en dicho apartado constaban de un módulo defectuoso y 35 iguales considerados perfectos.

Para el presente estudio se han analizado siete generadores por cada módulo defectuoso del anterior apartado (de 2, de 4, de 6, de 8, de 12, de 16 y de 32 módulos en cada serie, de 4 series cada uno). El resto de módulos que componen los generadores son iguales a los utilizados en el apartado anterior, pero variando el número de ellos.

Del mismo modo, y con el fin de comprender la influencia del nº de series de un seguidor en sus pérdidas, se han analizado otros siete generadores por cada módulo defectuoso del anterior apartado (de 2, de 4, de 6, de 8, de 12, de 16 y de series, de 4 módulos en cada serie). El resto de módulos que componen los generadores también son iguales a los utilizados en el apartado anterior, pero variando el número de ellos.

Por último, para relacionar la influencia del nº de series, y el nº de módulos en serie de un seguidor sobre sus propias pérdidas, se han creado generadores de varias configuraciones, todos ellos con un solo módulo defectuoso y el resto "perfectos".

A continuación, se muestra una leyenda para la correcta interpretación de los gráficos que se mostraran en este apartado.

- | | |
|---|---|
|  | Curva I-V del módulo con defecto. |
|  | Curva I-V de los módulos perfectos del generador. |
|  | Curva P-V del generador (diferentes escalas) ¹ . |
|  | Punto de trabajo del módulo defectuoso. |
|  | Punto de trabajo del resto de módulos. |
|  | Punto de trabajo de los módulos de la serie defectuosa. |
|  | Punto de máxima potencia. |

1- Las curvas P-V de cada uno de los generadores tiene una escala en sus ejes distinta, que permite visualizarlas con mayor facilidad.

2.5.2. AUMENTO DEL Nº DE MÓDULOS POR SERIE:

El aumento del número de módulos en serie de un generador implica un aumento del número de módulos que no pertenecen a la serie del defectuoso y también, aunque en menor medida, o como mucho igual, de los que sí comparten serie con él. El porcentaje de módulos que no pertenecen a la misma serie que el defectuoso permanece constante para cualquier número de módulos en serie, mientras que el de los módulos de la misma serie que el defectuoso aumenta hasta un límite ($= 1/n^0$ series). Como consecuencia, el módulo defectuoso supondrá un porcentaje menor de módulos conforme se aumenta el número de estos en serie, hasta alcanzar un mínimo ($= 1-1/n^0$ series-0.6). Realmente estos límites nunca se alcanzan, para ello son necesarios infinitud de módulos en serie.

Esto implica un aumento, conforme aumenta el número de módulos en serie de la importancia de mantener trabajando en los puntos más próximos posibles al de máxima potencia a los módulos de la misma serie que el defectuoso. La importancia de mantener al resto de módulos lo más cerca posible del punto de máxima potencia no aumenta conforme se incrementa el número de módulos en serie, permanece constante, pero siempre siendo mayor que la de mantener a los otros tipos, ya que en todos los casos supone un porcentaje mayor de módulos. Del mismo modo la importancia de mantener el punto de trabajo del módulo defectuoso cercano al punto de máxima potencia disminuye conforme aumenta el número de módulos en serie.

En conclusión, conforme se aumenta el número de módulos en serie, se aumenta la prioridad de los módulos de la misma serie que el defectuoso, disminuyendo a su vez la del propio defectuoso. Como los primero siempre suponen más cantidad de módulos que el módulo defectuoso (excepto para 1 o dos módulos en serie), y además con mayores potencias máximas, las pérdidas por dispersión del conjunto, y por tanto las pérdidas totales, disminuyen conforme se aumenta el número de módulos en serie, como se demostrará más profundamente en el presente apartado.

Por último destacar que cuantas más series contengan los generadores, mayor porcentaje de módulos que no comparten serie con el defectuoso hay, y menor porcentaje de módulos de la misma serie que el defectuoso.

2.5.3. AUMENTO DEL Nº DE SERIES:

El aumento del número de series en un generador provoca un aumento del porcentaje de módulos que no pertenecen a la serie del módulo defectuoso. Esto implica un descenso en la importancia de la aportación energética del módulo defectuoso, y de los módulos de su serie.

Al alcanzar un cierto número de series es necesario prescindir de la potencia aportada por el módulo defectuoso para alcanzar el máximo del conjunto. Asimismo, la cantidad de potencia que puedan aportar los módulos de su serie tampoco es relevante. Lo importante para el conjunto es que el resto de módulos (una gran cantidad) trabajen en su punto de máxima potencia.

A partir de ese momento, podemos decir que la totalidad de las pérdidas por dispersión en el generador son debidas a las producidas en el módulo defectuoso (el 100% de su potencia máxima) y en los módulos de su serie (que serán las mismas, sea cual sea el número de series del seguidor).

En conclusión la cantidad de pérdidas por dispersión permanece constante a partir de un determinado número de series, lo que implica un porcentaje de ellas menor conforme este aumenta. Dicho porcentaje tiene su límite en cero, pero nunca lo llega a alcanzar. Y por lo tanto, las pérdidas totales tendrán su límite en la máxima potencia del módulo defectuoso, sin llegarlo a alcanzar tampoco.

Por último destacar que cuantos más módulos en serie contengan los generadores, mayor porcentaje de módulos que no comparten serie con el defectuoso hay, y menor porcentaje de módulos de la misma serie que el defectuoso.

2.5.4. FACTOR DE FORMA BAJO.

2.5.4.1. RESISTENCIA DE SERIE ALTA.

- Influencia del nº de módulos en serie:

En cada una de las Fig. 2.16., 2.17. y 2.18. se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores “A”, Grupo de generadores “B” y Grupo de generadores “C”), cada uno con 4 series y un nº de módulos en serie diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con alta R_s .

En cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de R_s diferente, siendo la de la 2.16. la de menor valor, y la de la 2.18. la de mayor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del nº de módulos en serie del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo “A”: verde.
- Grupo “B”: rojo.
- Grupo “C”: azul.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

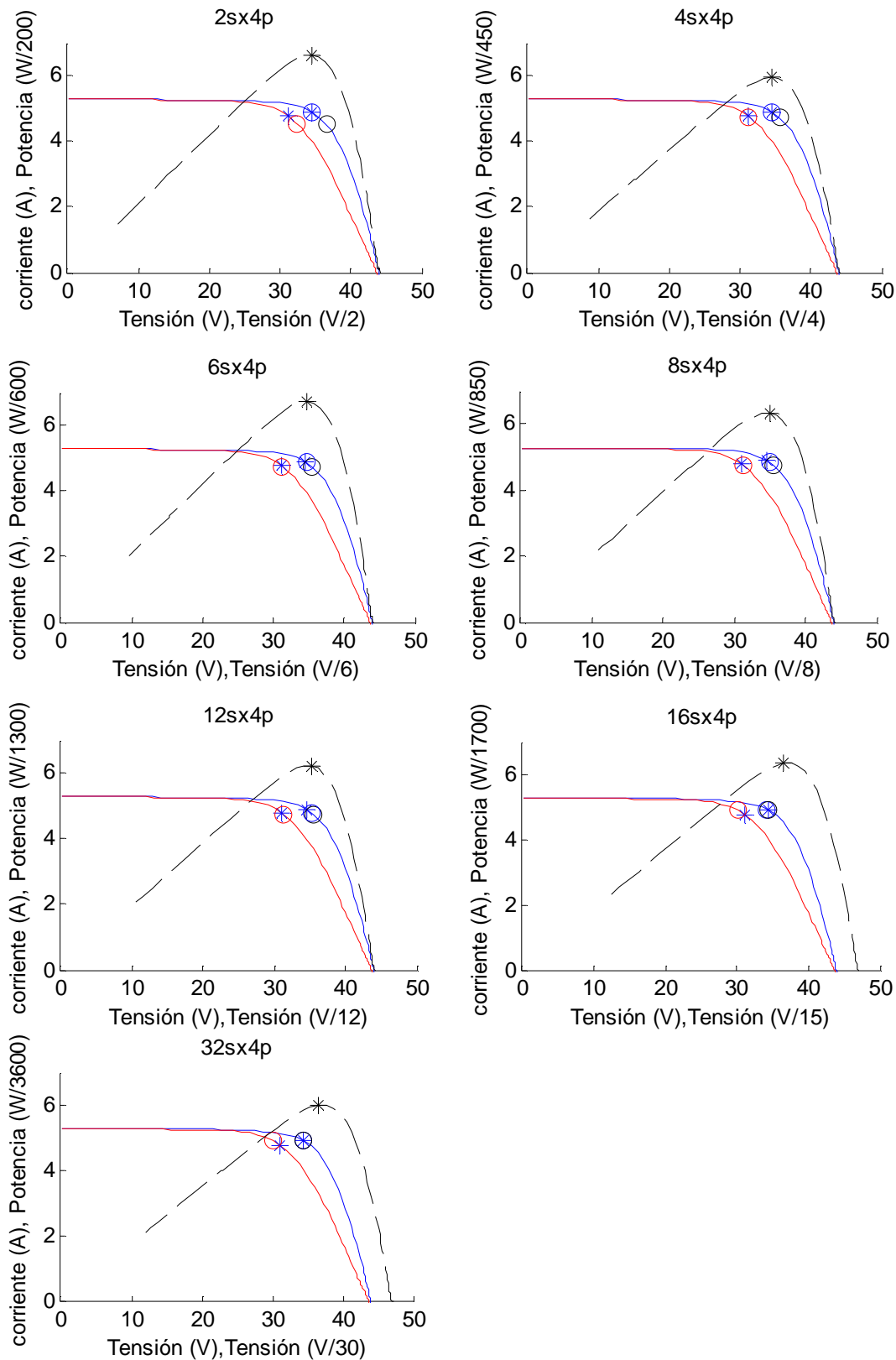


Fig.2.16. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de alta R_s . y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

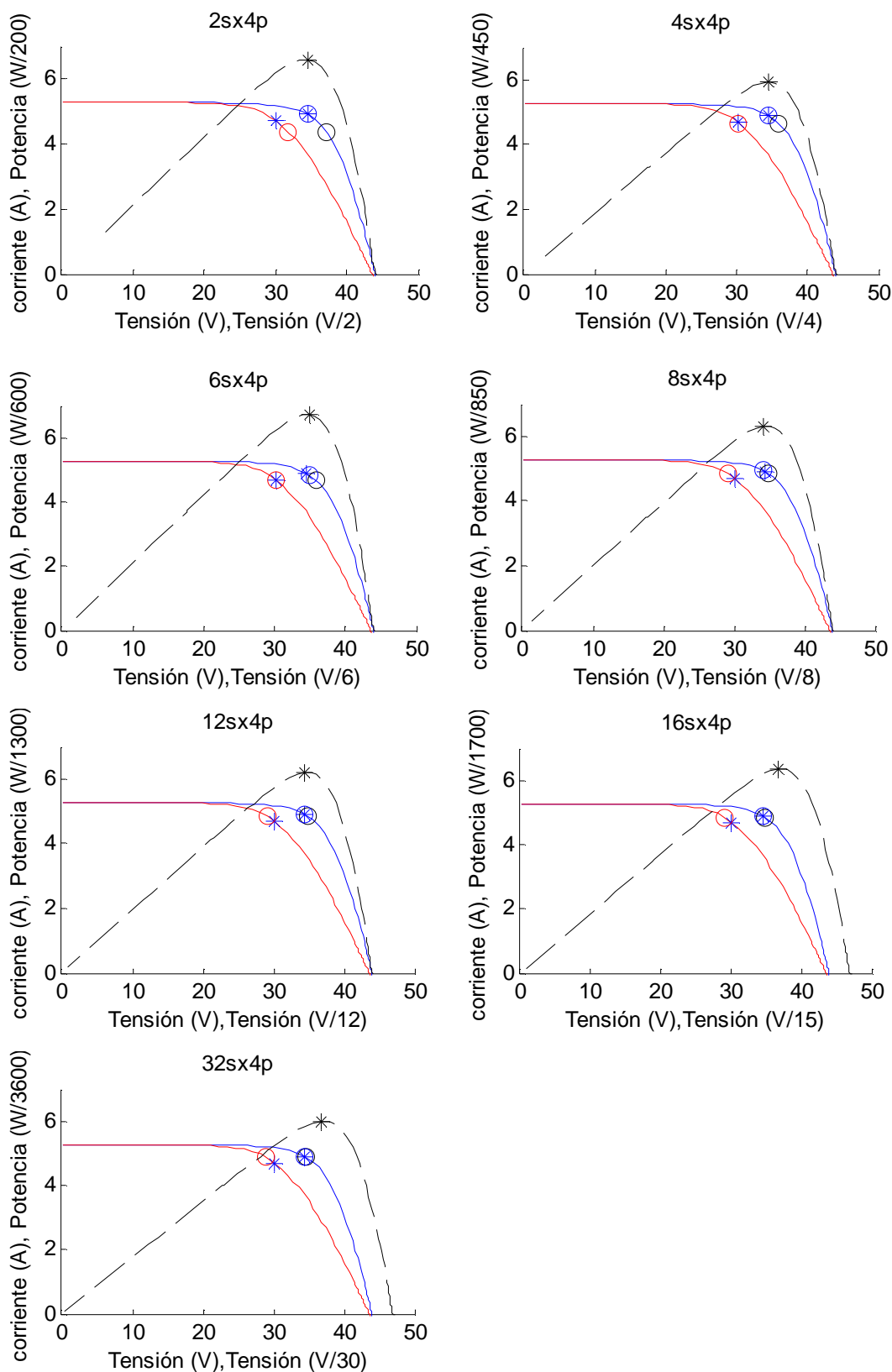


Fig.2.17. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de alta R_s . y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

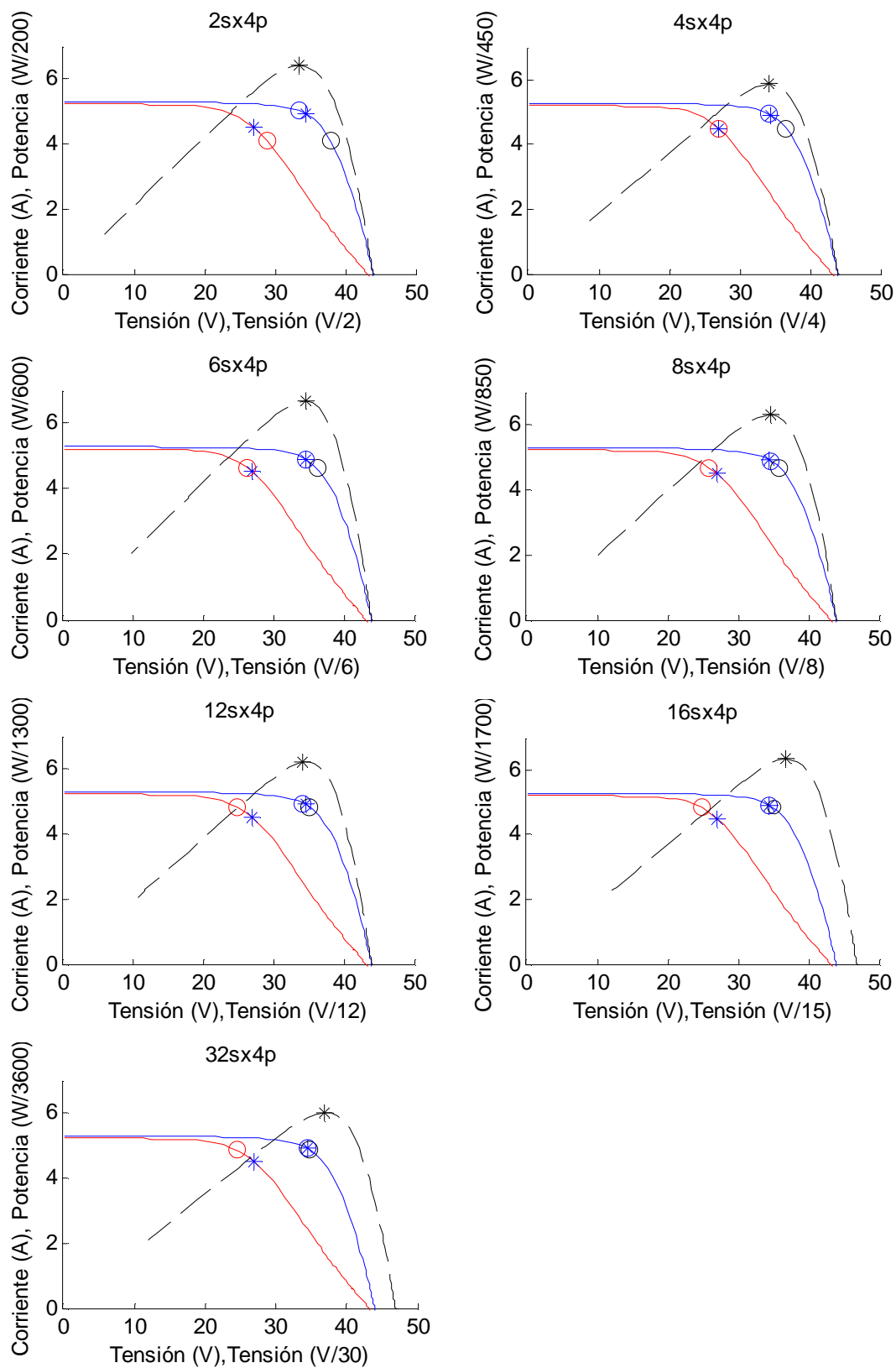


Fig.2.18. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de alta R_s . y curvas I-V de sus módulos.

En el apartado anterior se vio como los generadores 9sx4p con un módulo de alta Rs. tendían a mantener la tensión de las series mediante la variación de la corriente de la serie defectuosa, ya que, debido a las características de la curva I-V de este tipo de módulos, dicha variación de corriente no suponía grandes pérdidas.

Ahora se ve como este comportamiento es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº de módulos en serie.

En las tablas 2.5., 2.6. y 2.7. se muestran dichas pérdidas.

Tabla.2.5. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "A".

Grupo de generadores "A"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie.	0,41%	1.94%
4 módulos en serie.	0,07%	0,83%
6 módulos en serie.	0,11%	0,62%
8 módulos en serie.	0,14%	0,52%
12 módulos en serie.	0,18%	0,44%
16 módulos en serie.	0,19%	0,38%
32 módulos en serie.	0,09%	0,19%

Tabla.2.6. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "B".

Grupo de generadores "B"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie.	0,78%	2.84%
4 módulos en serie.	0,18%	1.21%
6 módulos en serie.	0,22%	0,90%
8 módulos en serie.	0,19%	0,70%
12 módulos en serie.	0,03%	0,37%
16 módulos en serie.	0,04%	0,30%
32 módulos en serie.	0.05%	0.18%

Tabla.2.7. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "C".

Grupo de generadores "C"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie.	2.07%	5.59%
4 módulos en serie.	0,65%	2.41%
6 módulos en serie.	0,30%	1.47%
8 módulos en serie.	0,22%	1.10%
12 módulos en serie.	0,25%	0,84%
16 módulos en serie.	0,11%	0,55%
32 módulos en serie.	0,05%	0,27%

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.03 y 2.07%. Y las pérdidas totales entre 0.18 y 5.59%.

La Fig. 2.19.a) muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de módulos en serie de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.19. b) la de las pérdidas totales.

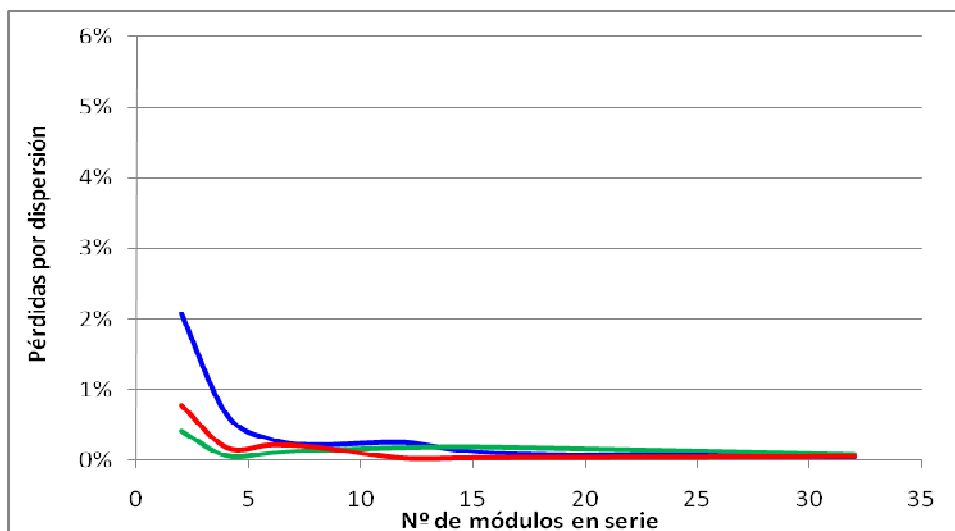


Fig.2.19. a) Pérdidas por dispersion de cada Grupo de generadores en funcion de nº de módulos en serie.

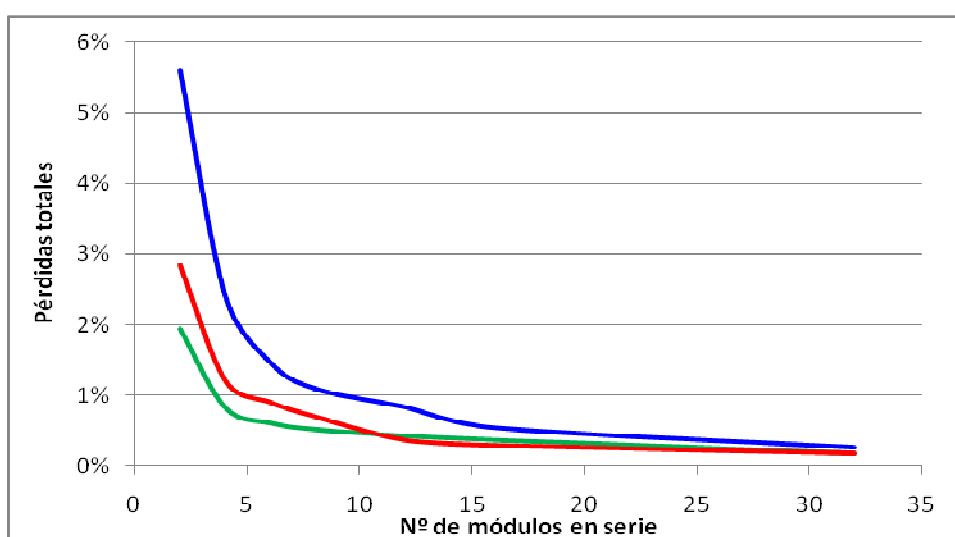


Fig.2.19. b) Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en funcion de nº de módulos en serie.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de módulos en serie, tal como se planteó en el apartado 2.5.2.

En dicho apartado también se explicó como al aumentar el nº de módulos en serie aumenta la importancia de mantener la tensión de las serie, lo cual es más complicado cuanto mayor es el valor de R_s , como se puede apreciar en las Fig.2.19 a) y b) (aunque como ya se ha mencionado, este tipo de defecto no provoca grandes pérdidas). En ellas son los generadores del Grupo "C" los que mayores pérdidas tienen, sea cual sea el nº de módulos en serie.

La Fig.2.20. muestra la evolución de las pérdidas por de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de módulos en serie.

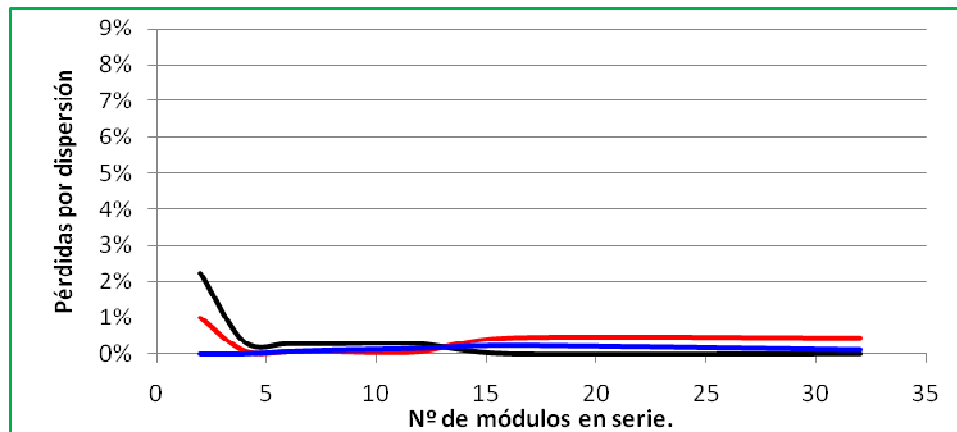
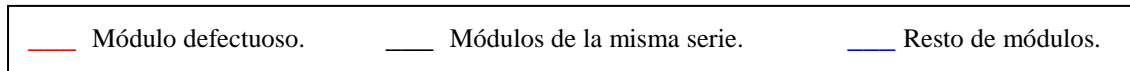


Fig.2.20.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de mód. en serie.

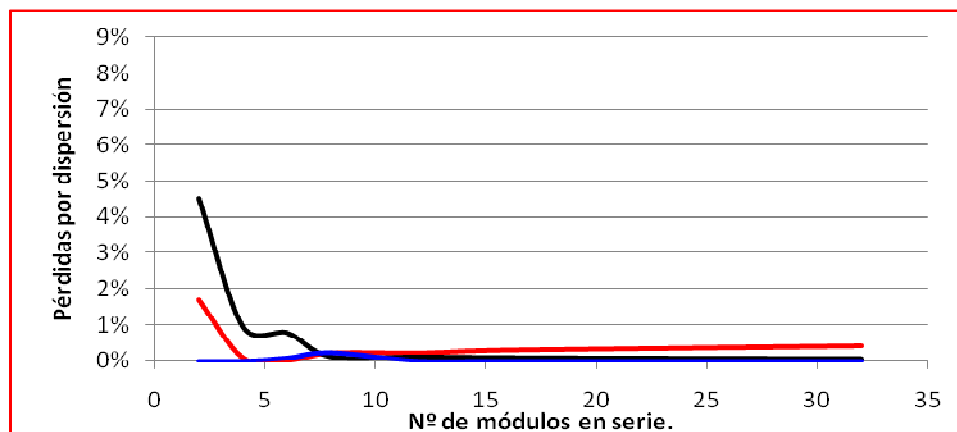


Fig.2.20.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de mód. en serie.

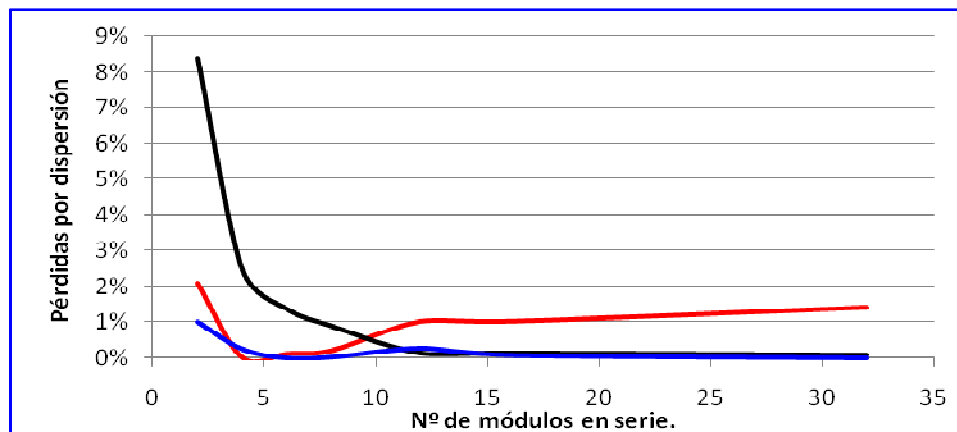


Fig.2.20.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de mód. en serie.

Las pérdidas en los módulos que comparten serie con el defectuoso disminuyen conforme aumenta el nº de módulos en serie, ya que su importancia va en aumento. Las del módulo defectuoso van en aumento, y las del resto de módulos permanece prácticamente constante con valores muy bajos. Estos comportamientos, ya razonados al comienzo de el presente apartado, son mas notables cuanto mayor es la R_s del módulo defectuoso.

- Influencia del nº de series:

En cada una de las Fig. 2.21., 2.22. y 2.23. se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores “A”, Grupo de generadores “B” y Grupo de generadores “C”). Esta vez, en cada uno de ellos consta de 4 módulos en serie y un nº series diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con alta R_s .

Al igual que para el análisis de la influencia del nº de módulos en serie, en cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de R_s diferente, siendo la de la 2.21. la de menor valor, y la de la 2.23. la de mayor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del nº de módulos en serie del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo “A”: verde.
- Grupo “B”: rojo.
- Grupo “C”: azul.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

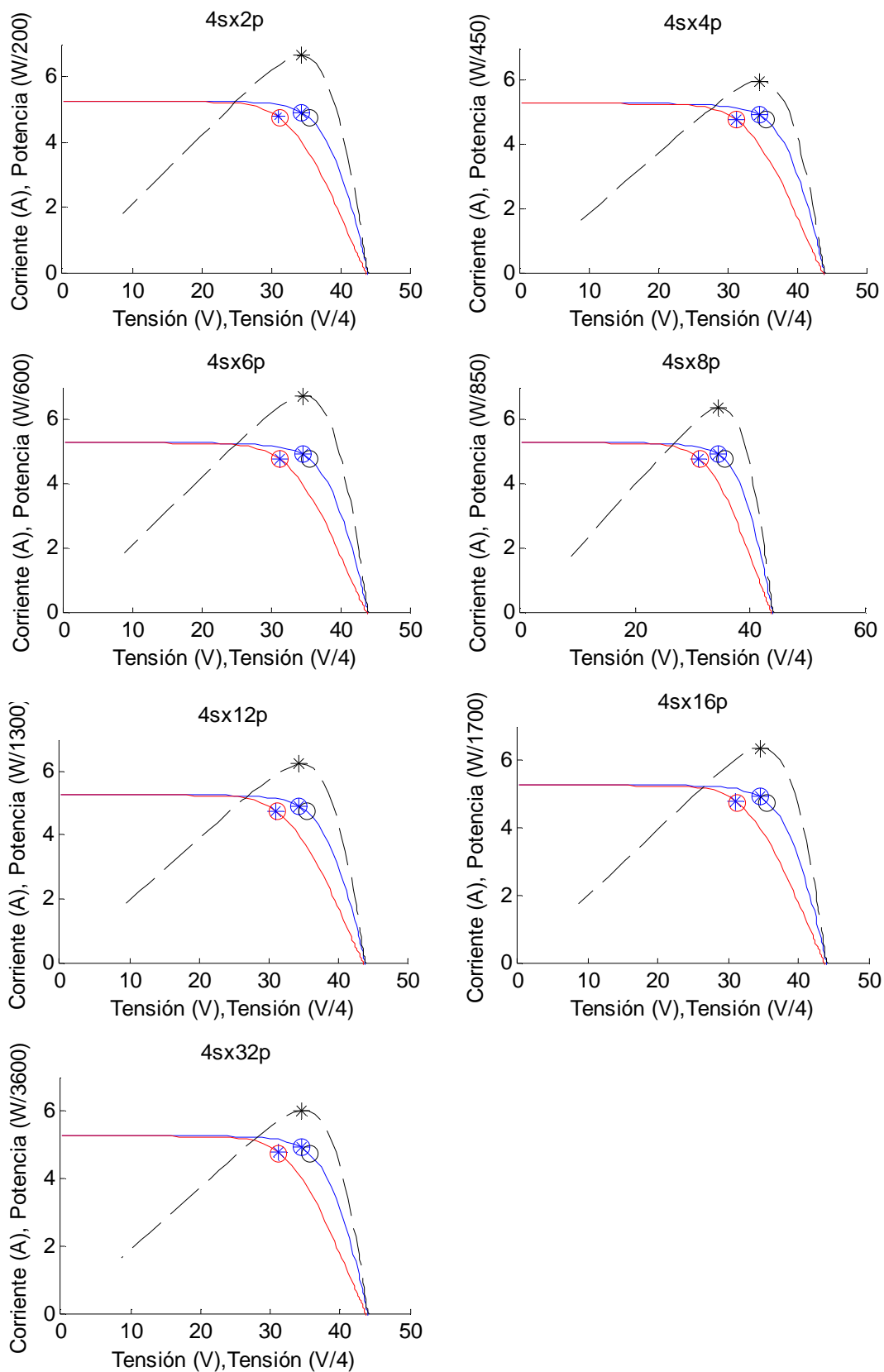


Fig.2.21. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de alta R_s . y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

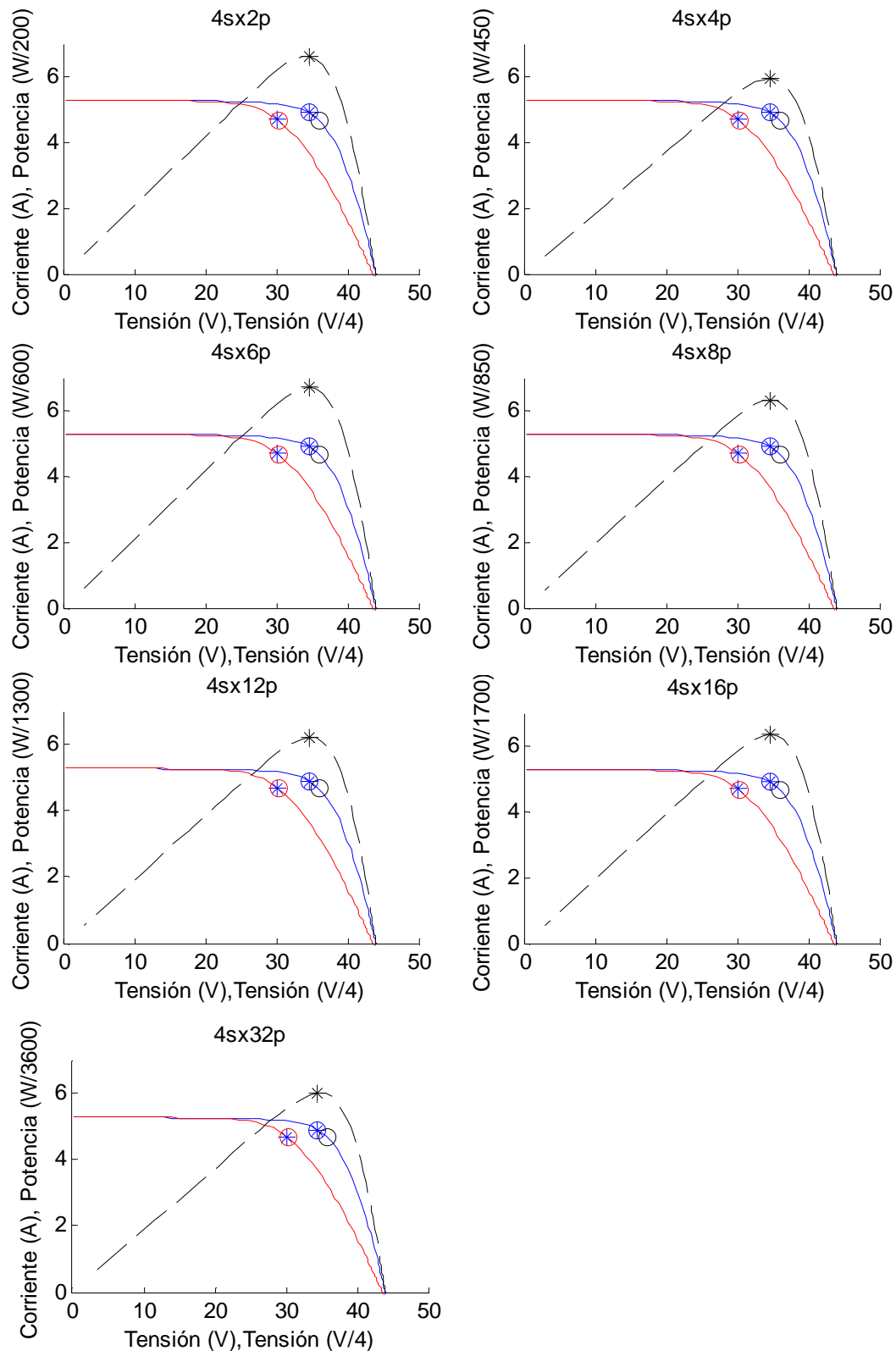


Fig.2.22. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de alta R_s . y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

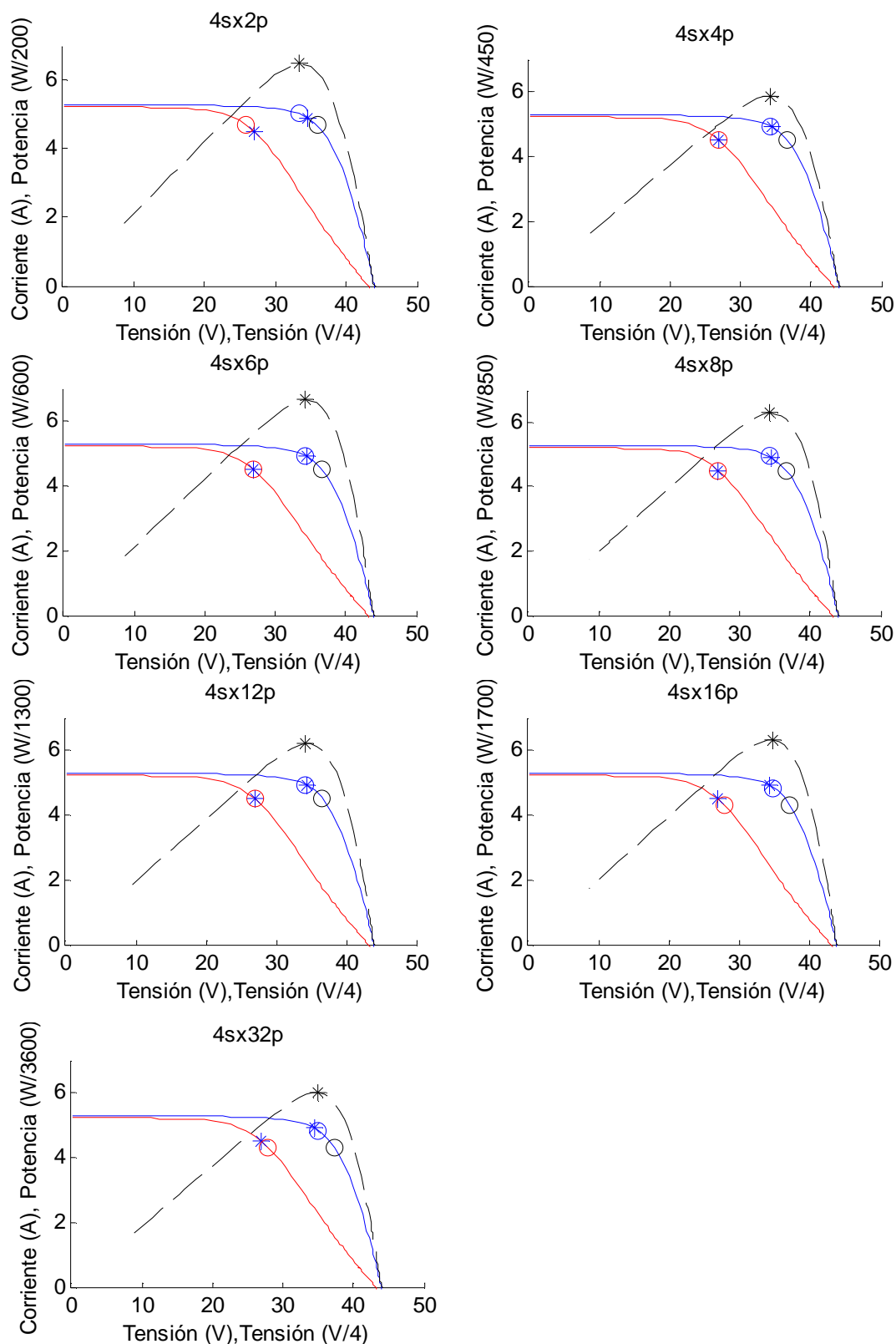


Fig.2.23. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de alta R_s . y curvas I-V de sus módulos.

Ya se ha comprobado, que los generadores con un módulo de alta Rs., tienden a mantener la tensión de sus series independientemente de su nº de módulos en serie.

Ahora se ve como este comportamiento también es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº de series.

En las tablas 2.8., 2.9. y 2.10. se muestran las pérdidas que esta variaciones provocan.

Tabla.2.8. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "A".

Grupo de generadores "A"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series	0,13%	1.67%
4 series	0,07%	0,83%
6 series	0,04%	0,56%
8 series	0,03%	0,42%
12 series	0,02%	0,28%
16 series	0,02%	0,21%
32 series	0,01%	0,10%

Tabla.2.9. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "B".

Grupo de generadores "B"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series	0,37%	2.43%
4 series	0,18%	1.21%
6 series	0,12%	0,81%
8 series	0,09%	0,61%
12 series	0,06%	0,40%
16 series	0,05%	0,30%
32 series	0.02%	0.15%

Tabla.2.10. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "C".

Grupo de generadores "C"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series	0,86	4.38
4 series	0,65	2.41
6 series	0,52	1.69
8 series	0,45	1.33
12 series	0,39	0,97
16 series	0,33	0,78
32 series	0,21	0,43

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.02 y 0.86%. Y las pérdidas totales entre 0.10 y 4.38%. Ambos rangos de pérdidas son parecidos a los obtenidos en el análisis de la influencia del nº de módulos en serie (relativamente bajos). En este caso los máximos son algo menores.

La Fig. 2.24. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de series de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.25. la de las pérdidas totales.

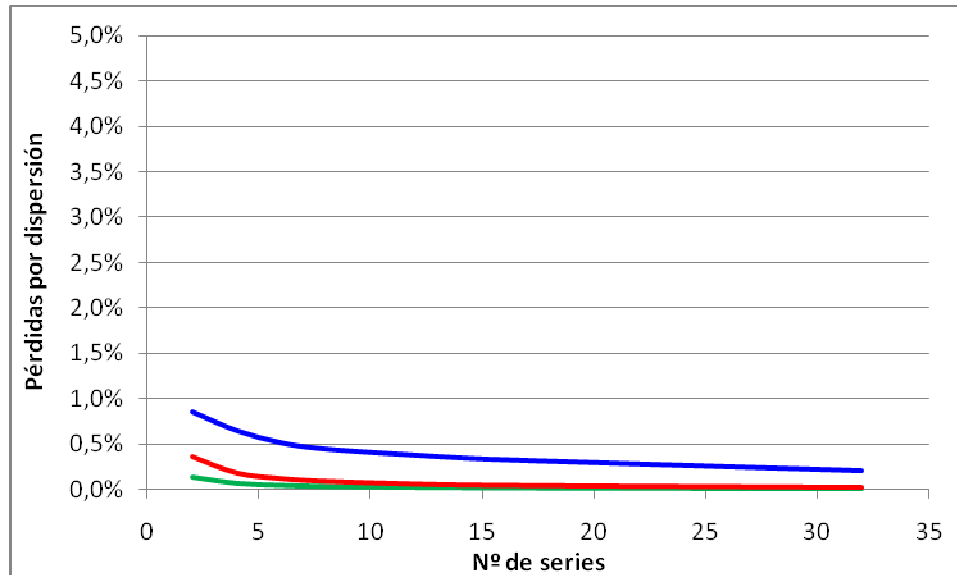


Fig.2.24. Pérdidas por dispersion de cada Grupo de generadores en funcion de nº de series.

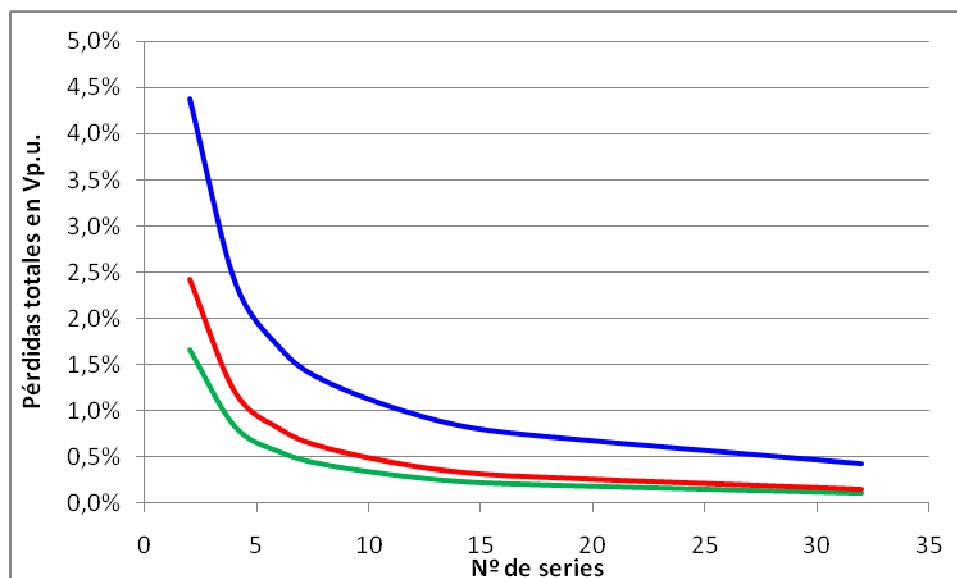


Fig.2.25. Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en funcion de nº de series.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de series, tal como se planteó en el apartado 2.5.3.

En dicho apartado también se explicó como al aumentar el nº de módulos en serie aumenta la importancia de mantener la tensión de las serie, lo cual es más complicado cuanto mayor es el valor de R_s , como se puede apreciar en las Fig.2.24 y 2.25. En ellas son los generadores del Grupo "C" los que mayores pérdidas tienen, sea cual sea el nº de series.

La Fig.2.26. muestra la evolución de las pérdidas por dispersión de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de series.

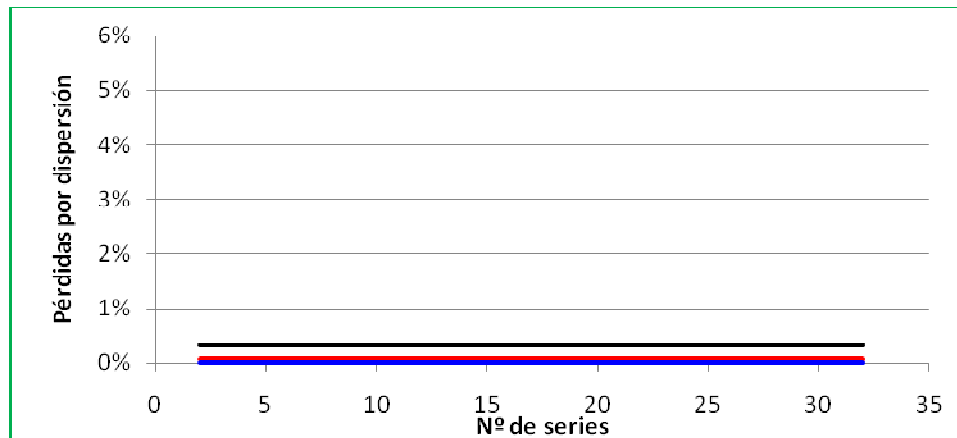
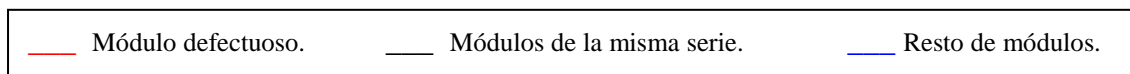


Fig.2.26.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de mód. en serie.

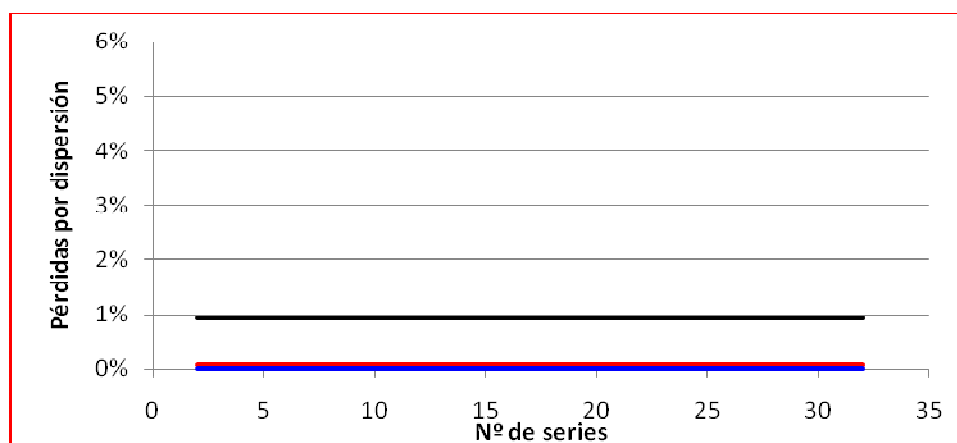


Fig.2.26.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de mód. en serie.

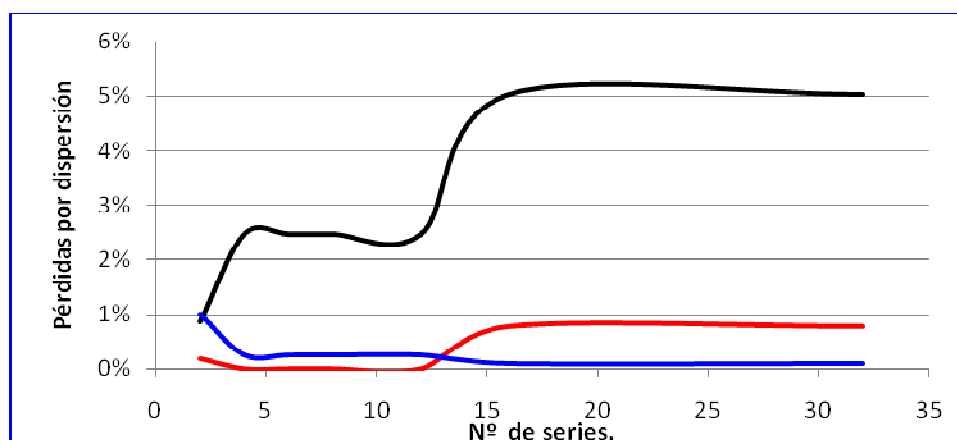


Fig.2.26.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de mód. en serie.

Cuando la R_s del módulo defectuoso de un seguidor no es muy elevada, se consigue mantener la tensión de las series de este sin variar mucho la corriente de la serie defectuosa.

Esto ocurre en los Grupos de generadores “A” y “B”, en los cuales, aunque el nº de series sea pequeño, es preferible sacrificar únicamente la potencia de la serie defectuosa, porque como ya se ha dicho este sacrificio no es muy elevado.

Si se comparan las gráficas de estos dos Grupos de generadores, se puede ver como el sacrificio de la potencia de la serie defectuosa necesario es mayor cuanto mayor es la R_s del módulo defectuoso. Esto es debido a las características de las curvas I-V de este tipo de módulos.

Cuando la R_s es muy grande, es preferible una leve modificación de la tensión de las series cuando el nº de series no es muy elevado, ya que la importancia de mantenerla es menor cuanto menor es dicho nº de series, y que la dificultad es elevada si la R_s también lo es.

Combinación de la influencia del nº de series y del nº de módulos en serie:

Hasta ahora el análisis se ha centrado en la variación del nº de módulos en serie de un seguidor o del nº de series independientemente. Pero la influencia del aumento del nº de módulos en serie en un seguidor varía en función del nº de series del mismo y viceversa.

Las Fig.2.27. y 2.28. permiten conocer las pérdidas totales de un seguidor con un módulo de alta R_s en función de su configuración.

La Fig.2.27. muestra dichas pérdidas en el caso de generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno idéntico al módulo defectuoso de los generadores del Grupo “A”, y la Fig.2.28. al de los generadores del Grupo “C”.

Se ponen de manifiesto los resultados obtenidos en los anteriores análisis. Las pérdidas totales de un seguidor disminuyen conforme aumenta el nº de módulos en serie y el nº de series, es decir, los generadores formados por menos módulos son los que tienen más pérdidas en porcentaje.

Además, se observa de nuevo que cuanto mayor es la R_s de los módulos defectuoso de los generadores, mayores son sus pérdidas para una misma configuración.

Al alcanzar un número muy elevado de módulos en serie y series, la disminución de las pérdidas es prácticamente inapreciable.

Las menores pérdidas que se pueden obtener están en torno a 0.3% en ambos casos.

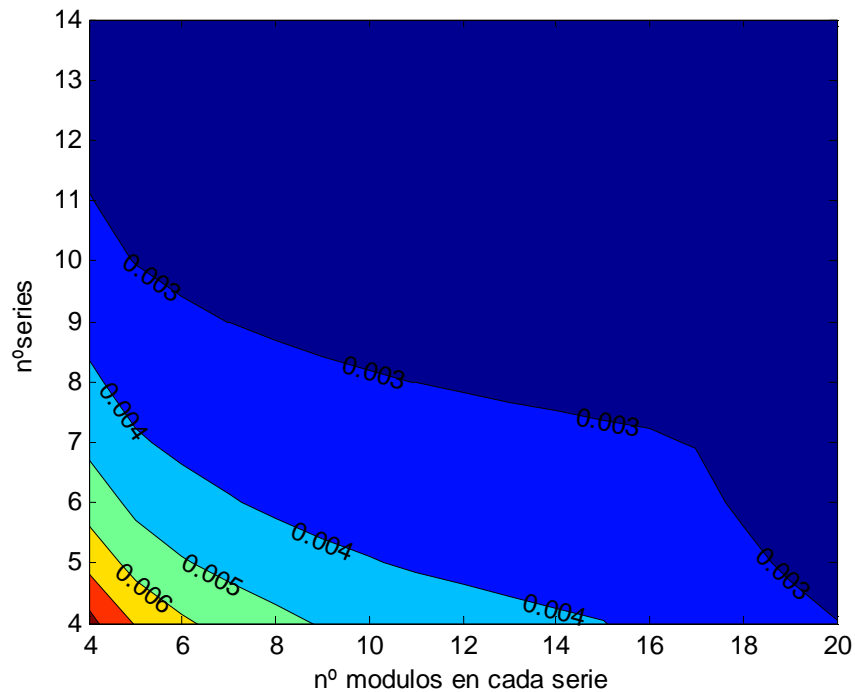


Fig.2.27. Pérdidas totales en Vp.u. en función de la configuración en seguidores con el módulo defectuoso idéntico a los del Grupo "A".

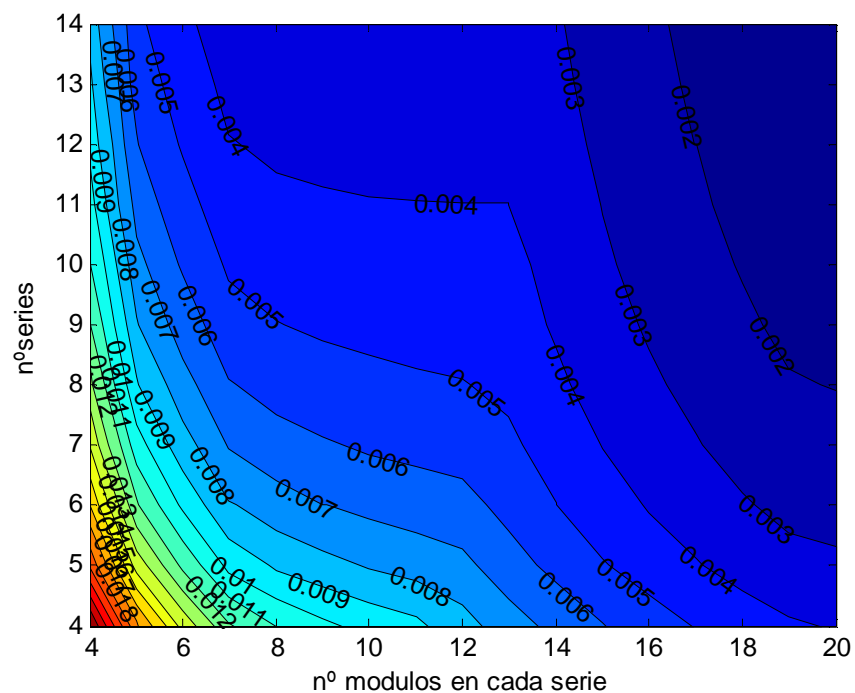


Fig.2.28. Pérdidas totales en Vp.u. en función de la configuración en seguidores con el módulo defectuoso idéntico a los del Grupo "C".

2.5.4.2. “STRINGS” CON BAJA CORRIENTE.

- Influencia del nº de módulos en serie:

En cada una de las Fig. 2.29., 2.30., 2.31. y 2.32, se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores “A”, Grupo de generadores “B”, Grupo de generadores “C” y Grupo de generadores “D”), cada uno con 4 series y un nº de módulos en serie diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con baja corriente en sus “strings”.

En cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de corriente en sus “strings” diferente, siendo la de la 2.29. la de mayor valor, y la de la 2.32. la de menor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del nº de módulos en serie del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo “A”: verde.
- Grupo “B”: rojo.
- Grupo “C”: azul.
- Grupo “D”: morado.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

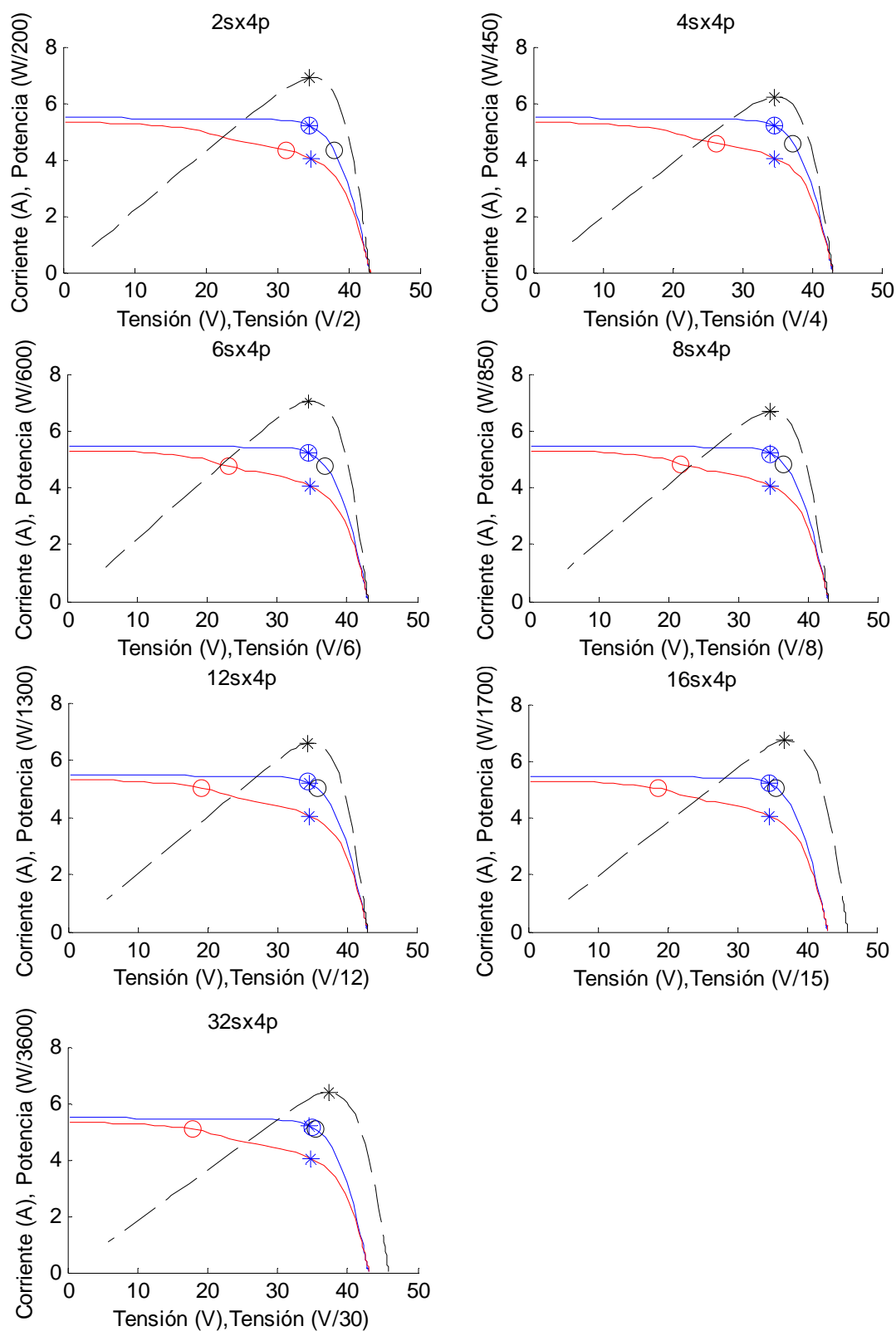


Fig.2.29. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

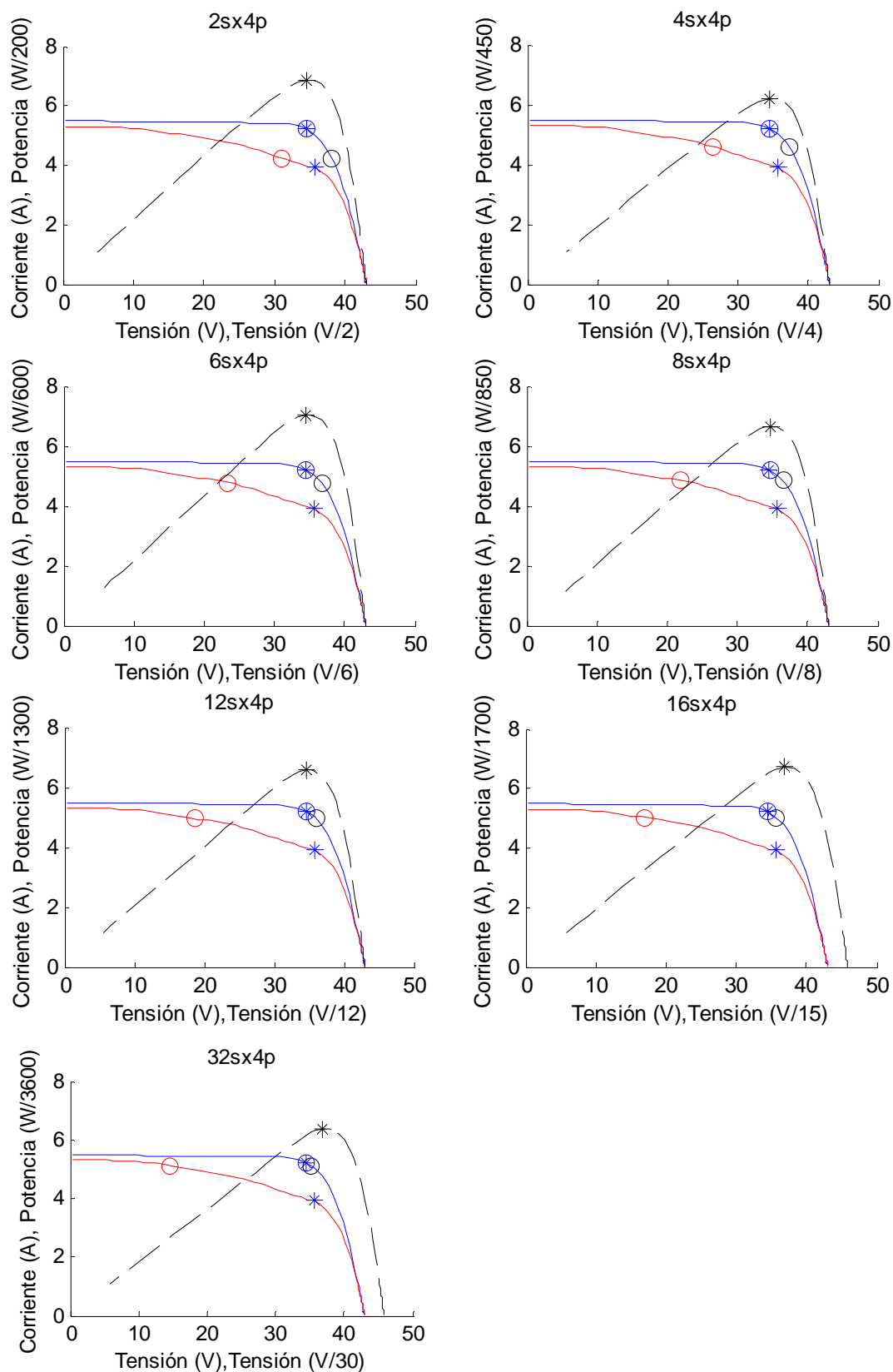


Fig.2.30. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

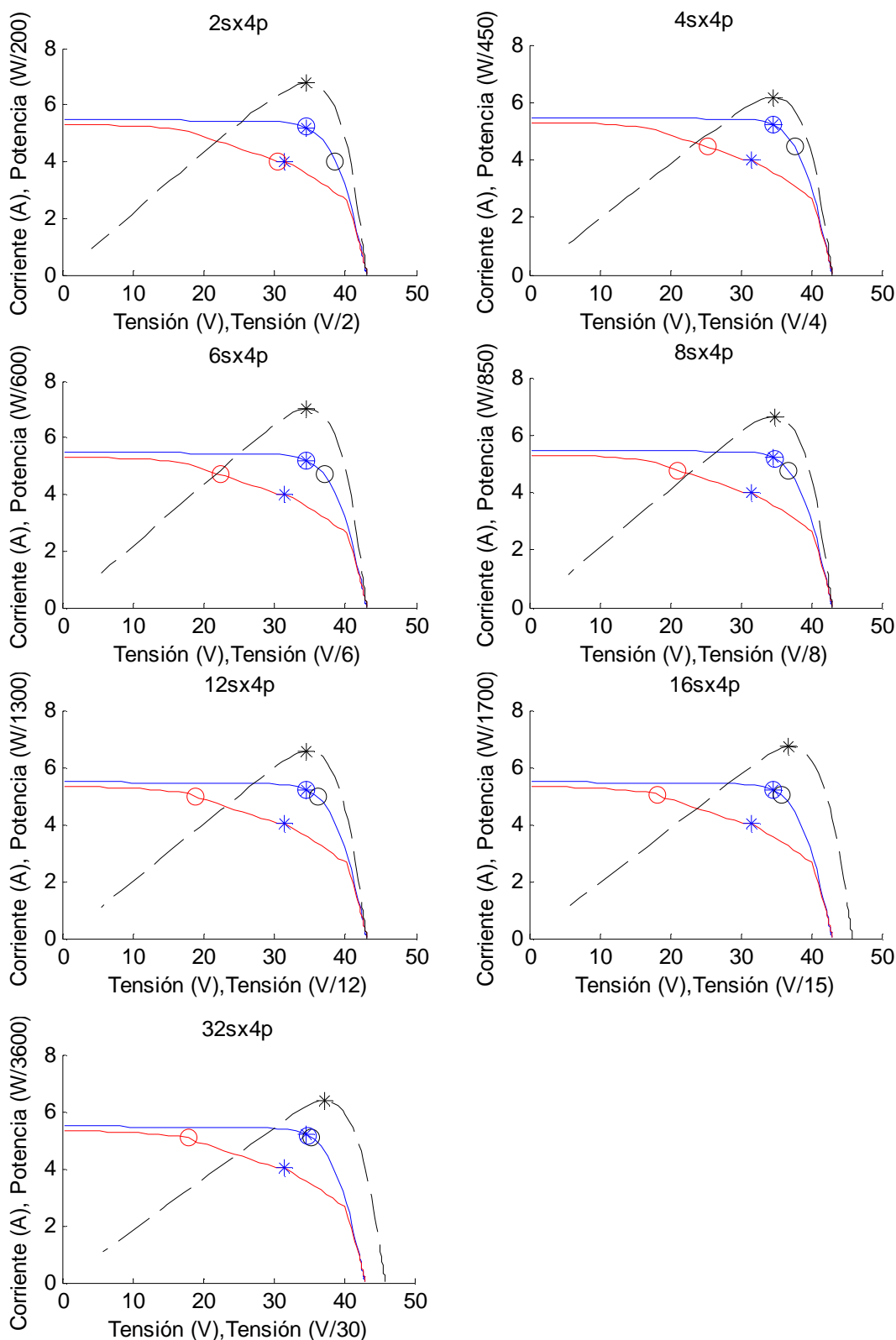


Fig.2.31. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "D"

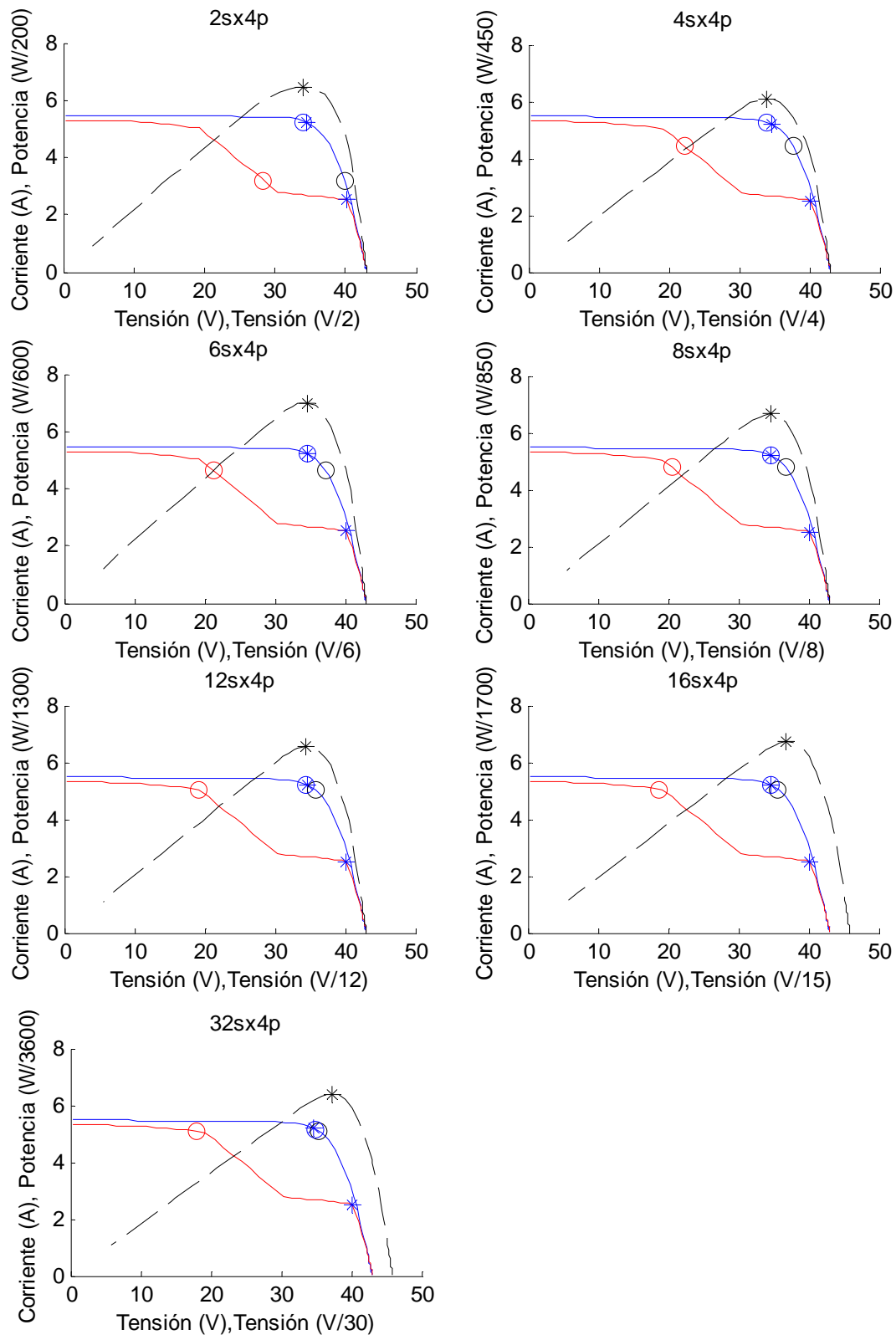


Fig.2.32. Curvas P-V de seguidores del Grupo "D", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

En el apartado anterior se vio como los generadores 9sx4p con un módulo de baja corriente en sus “strings”, debido a las características de la curva I-V de este tipo de módulos, tendían a mantener la tensión de las series mediante una la variación de la corriente de la serie defectuosa, que afectaba especialmente el punto de trabajo del módulo defectuoso.

Ahora se ve como este comportamiento es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº de módulos en serie.

En las tablas 2.11., 2.12., 2.13. y 2.14. se las pérdidas ocasionadas por dicha variación de corriente.

Tabla.2.11. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “A”.

Grupo de generadores “A”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	1.42%	4.16%
4 módulos en serie	1.66%	3.03%
6 módulos en serie	1.32%	2.23%
8 módulos en serie	1.04%	1.73%
12 módulos en serie	0,73%	1.19%
16 módulos en serie	0,45%	0,79%
32 módulos en serie	0,26%	0,43%

Tabla.2.12. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “B”.

Grupo de generadores “B”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	1.84%	4.62%
4 módulos en serie	1.58%	2.97%
6 módulos en serie	1.20%	2.12%
8 módulos en serie	1.01%	1.71%
12 módulos en serie	0,73%	1.19%
16 módulos en serie	0,53%	0,88%
32 módulos en serie	0.30%	0.48%

Tabla.2.13. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “C”.

Grupo de generadores “C”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	2.10%	5.85%
4 módulos en serie	1.79%	3.66%
6 módulos en serie	1.27%	2.52%
8 módulos en serie	0,99%	1.93%
12 módulos en serie	0,57%	1.20%
16 módulos en serie	0,39%	0,86%
32 módulos en serie	0,20%	0,43%

Tabla.2.14. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “D”.

Grupo de generadores “D”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	4.81%	10.30%
4 módulos en serie	2.08%	4.82%
6 módulos en serie	1.02%	2.85%
8 módulos en serie	0.61%	1.98%
12 módulos en serie	0,27%	1.19%
16 módulos en serie	0,10%	0,79%
32 módulos en serie	0,09%	0,43%

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.09 y 4.81%. Y las pérdidas totales entre 0.43 y 10.30%.

La Fig. 2.33. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de módulos en serie de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.34. la de las pérdidas totales.

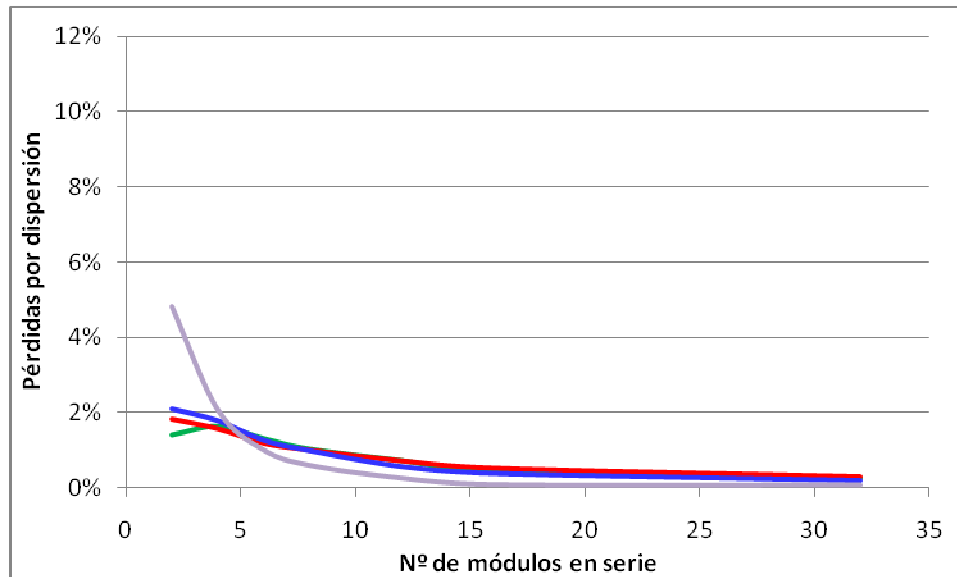


Fig.2.33. Pérdidas por dispersion de cada Grupo de generadores en funcion de nº de módulos en serie.

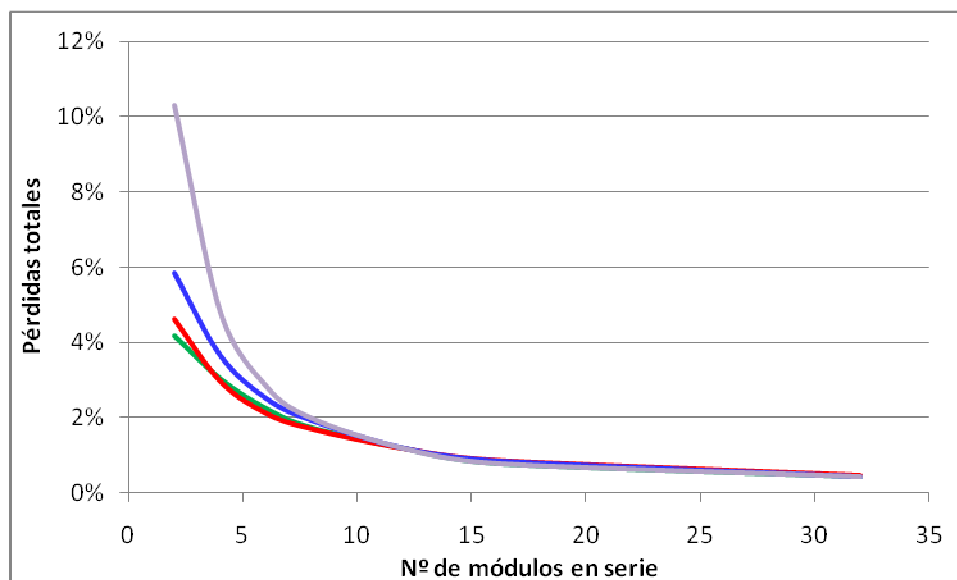


Fig.2.34. Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en funcion de nº de módulos en serie.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de módulos en serie, tal como se planteó en el apartado 2.5.2.

La Fig.2.35. muestra la evolución de las pérdidas por dispersión de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de módulos en serie.

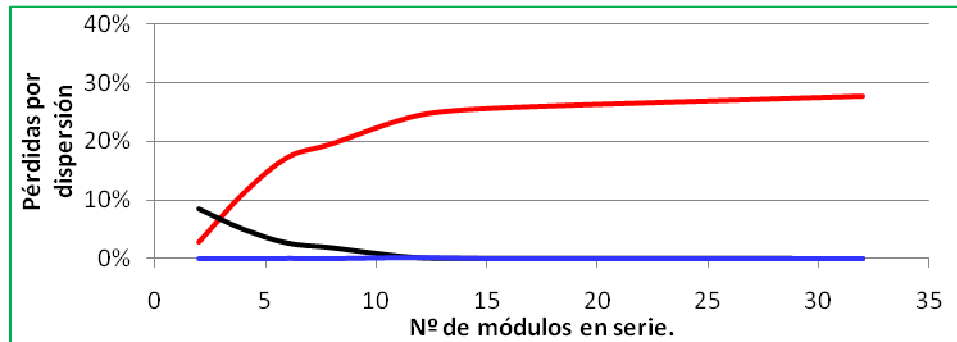
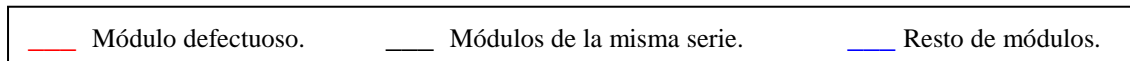


Fig.2.35.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de mód. en serie.

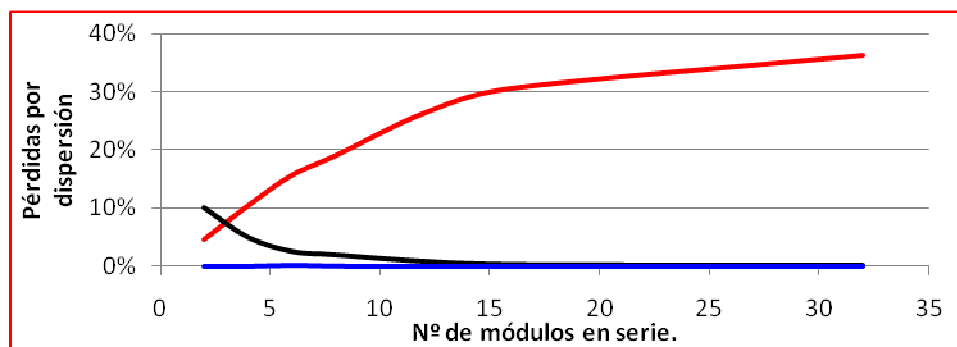


Fig.2.35.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de mód. en serie.

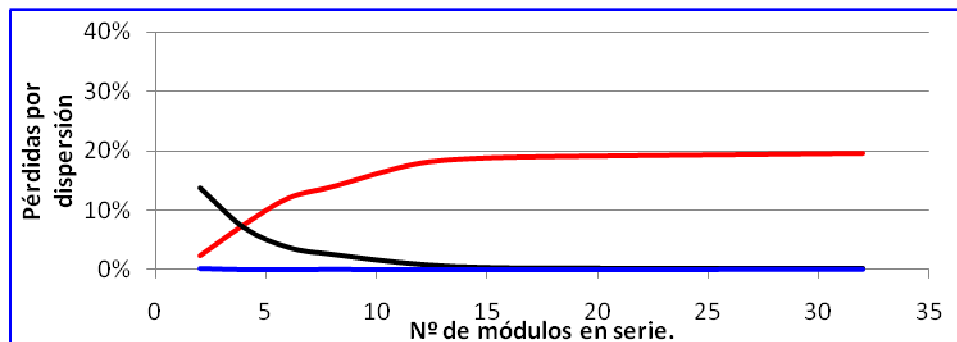


Fig.2.35.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de mód. en serie.

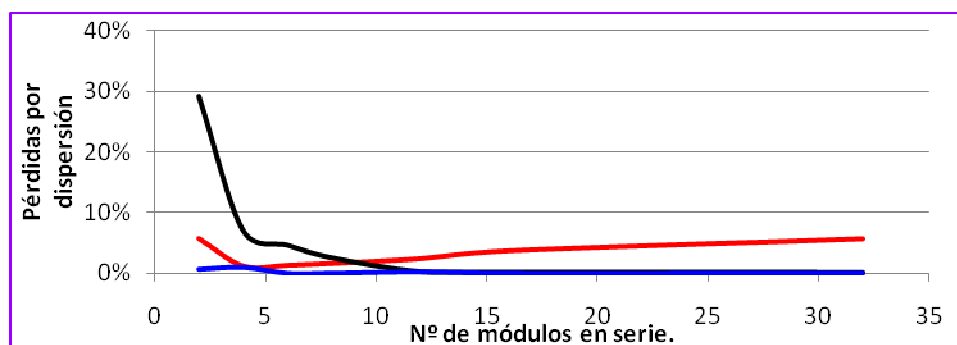


Fig.2.35.d) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "D" en función de nº de mód. en serie.

Queda de manifiesto la tendencia de este tipo de generadores a mantener la tensión de la serie, es decir, a no provocar grandes pérdidas en los módulos que no comparten serie con el defectuoso. Para ello el módulo defectuoso se aleja considerablemente de su punto de máxima potencia, para evitar que la corriente de su serie sufra una gran caída, ya que los módulos de dicha serie (excepto el módulo defectuoso) cada vez suponen un porcentaje mayor del total en el generador.

Así, las pérdidas en el módulo defectuoso aumentan conforme se incrementa el nº de módulos en serie, las de los módulos de su misma serie disminuyen y la del resto de módulos se mantiene en valores bajos.

- Influencia del nº de series:

En cada una de las Fig. 2.36., 2.37. 2.38. y 2.39. se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores "A", Grupo de generadores "B", Grupo de generadores "C" y Grupo de generadores "D"). Esta vez, cada uno de ellos consta de 4 módulos en serie y un nº series diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con baja corriente en sus "strings".

Al igual que para el análisis de la influencia del nº de módulos en serie, en cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de corriente en sus "strings" diferente, siendo la de la 2.36. la de mayor valor, y la de la 2.39. la de menor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del nº de módulos en serie del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo "A": verde.
- Grupo "B": rojo.
- Grupo "C": azul.
- Grupo "D": morado.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

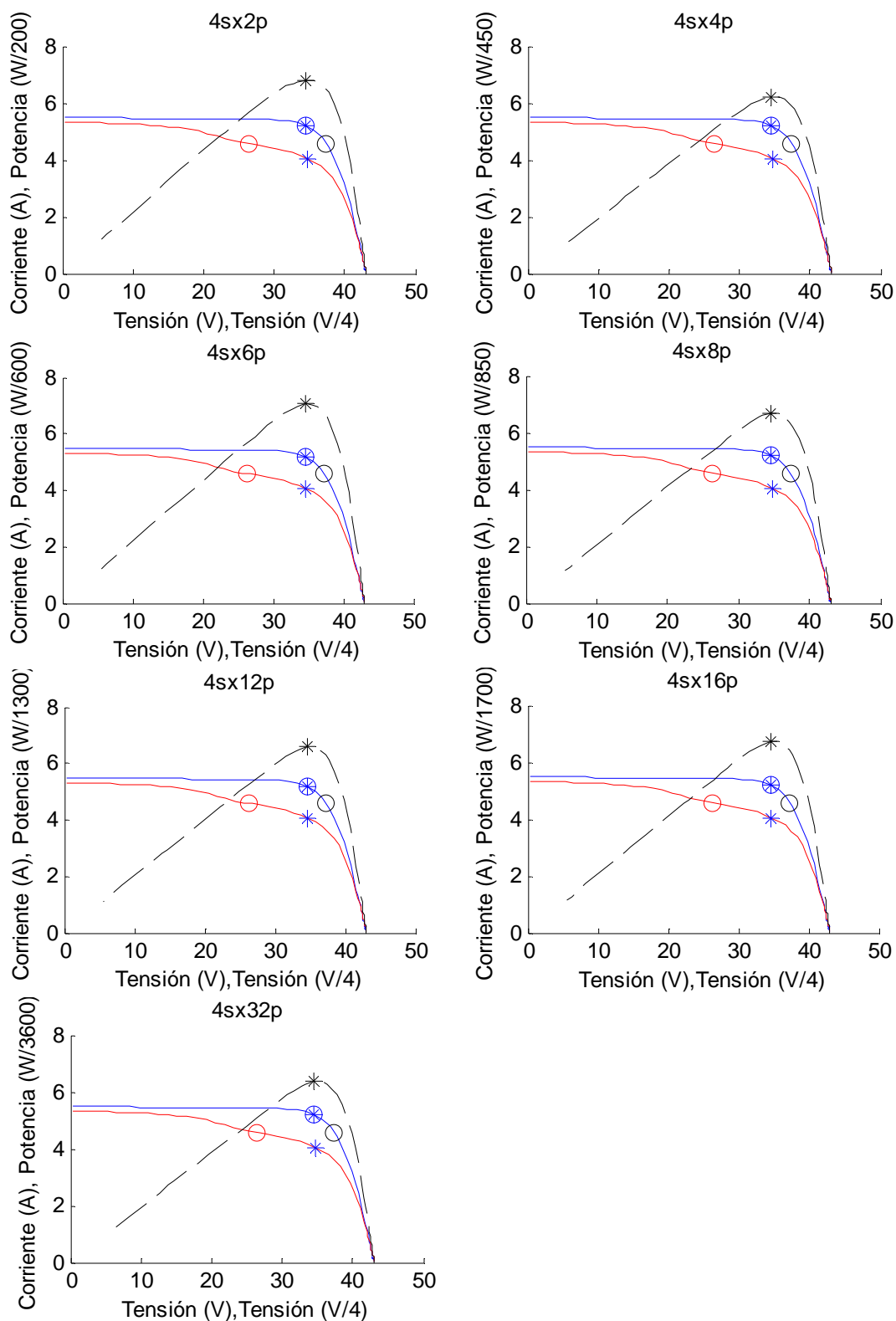


Fig.2.36. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

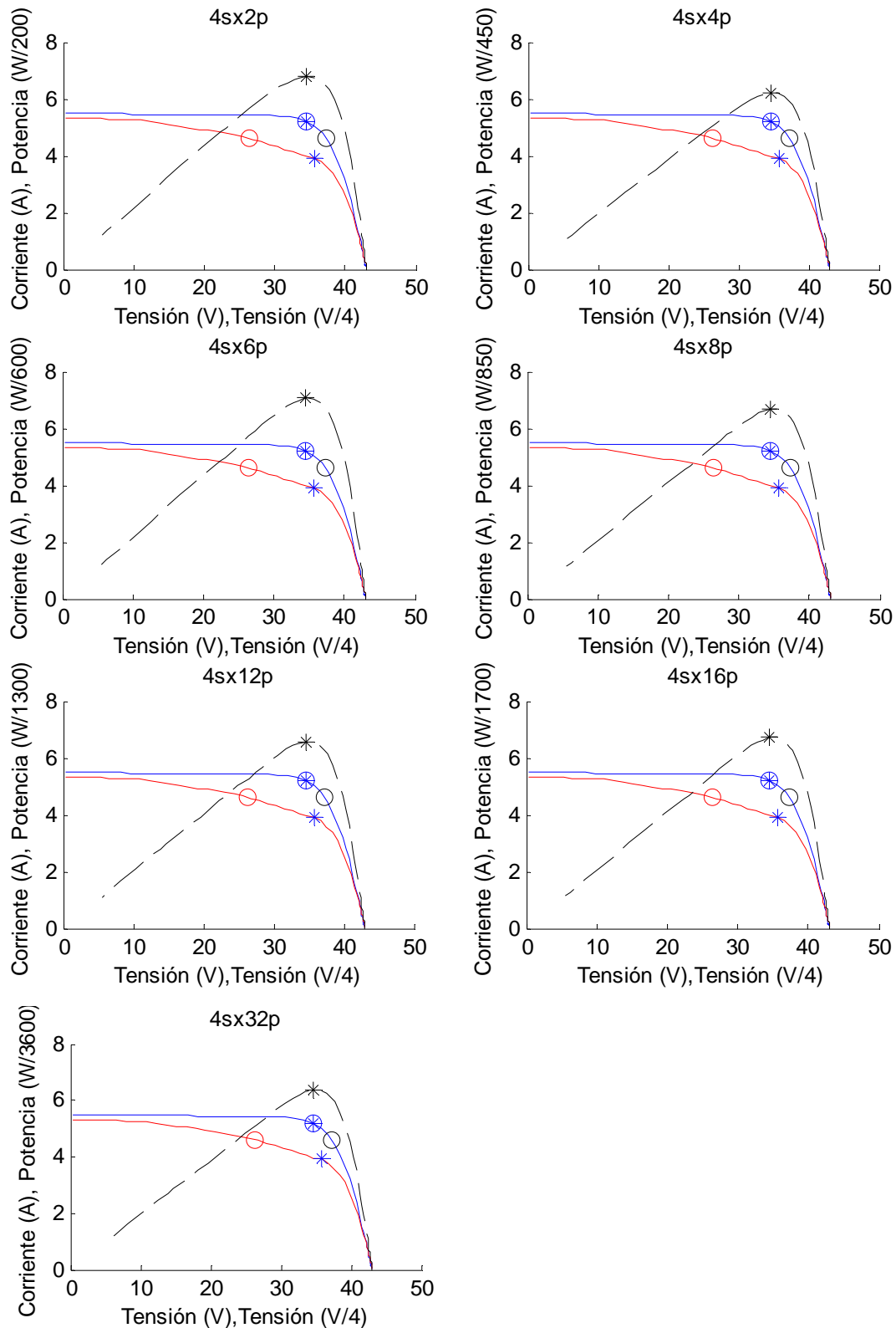


Fig.2.37. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

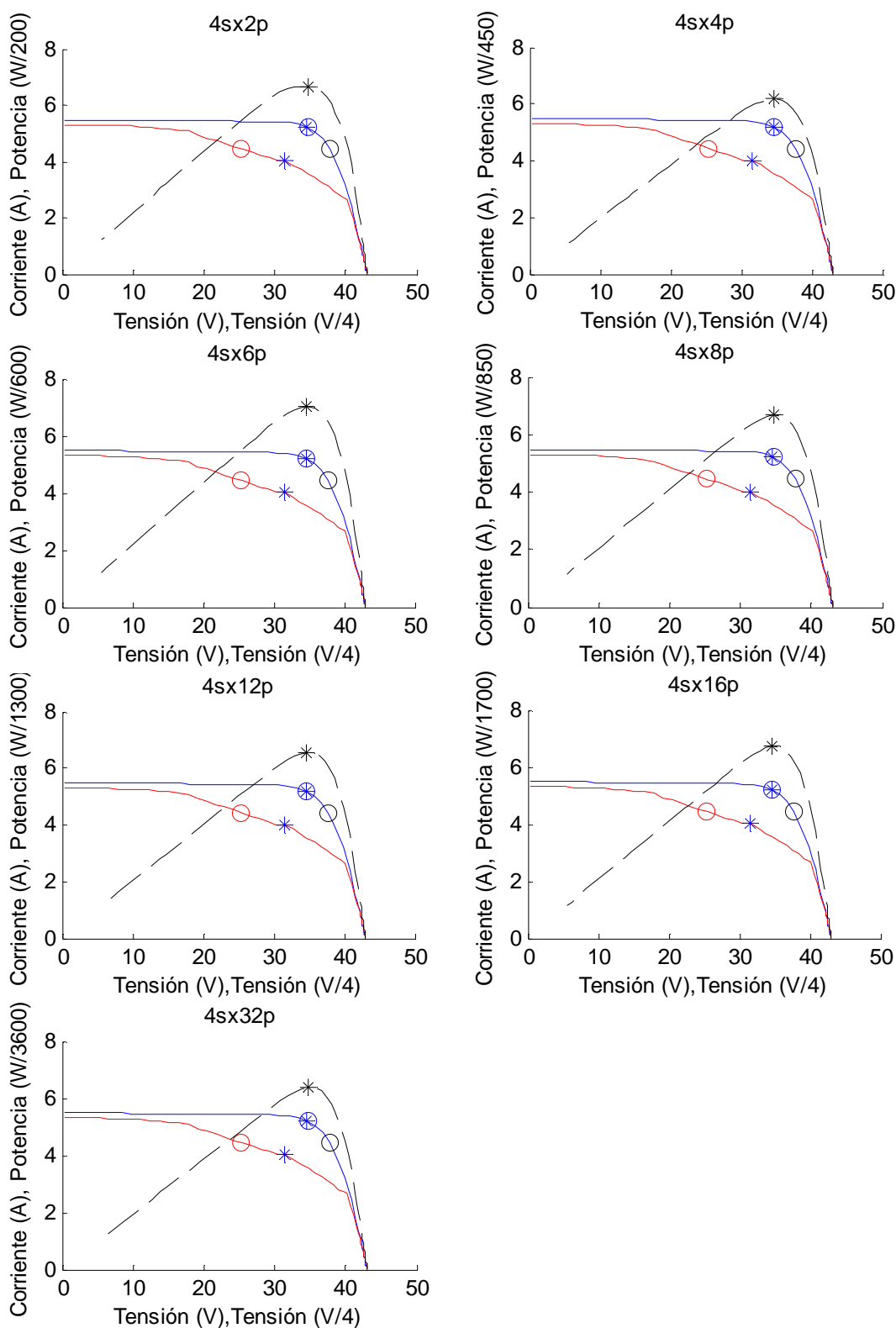


Fig.2.38. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "D"

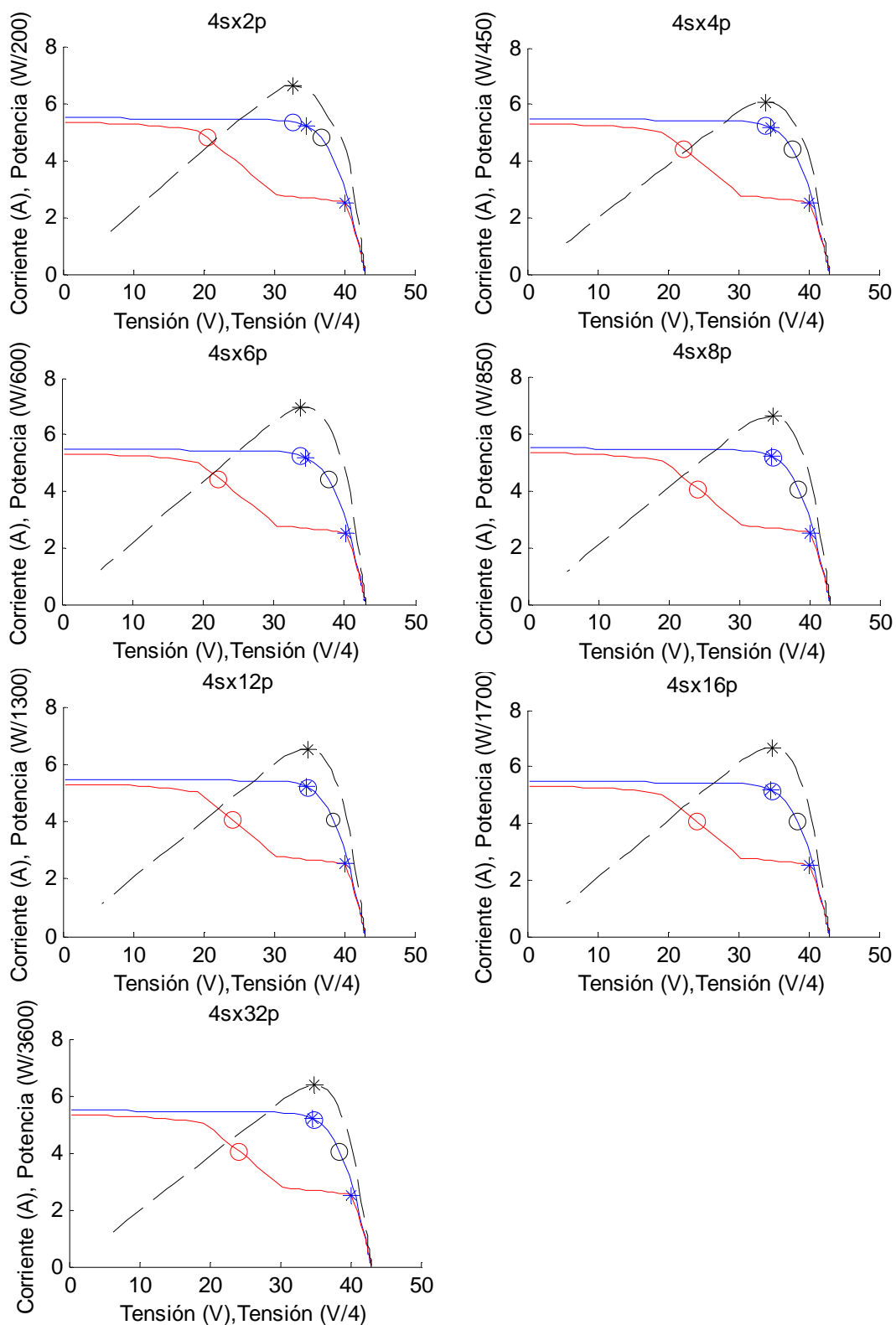


Fig.2.39. Curvas P-V de seguidores del Grupo "D", con un módulo de baja corriente en sus "strings" y curvas I-V de sus módulos.

Ya se ha comprobado, que los generadores con un módulo de baja corriente en sus “strings”, tienden a mantener la tensión de sus series y la corriente de la serie defectuosa, a costa de un gran sacrificio de la potencia del módulo defectuoso, independientemente de su nº de módulos en serie.

Ahora se ve como este comportamiento también es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº series.

En las tablas 2.15., 2.16., 2.17. y 2.18. se muestran el Vp.u. pérdidas que esta variaciones provocan.

Tabla.2.15. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “A”.

Grupo de generadores “A”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	3.31%	6.05%
4 series.	1.66%	3.03%
6 series.	1.10%	2.02%
8 series.	0,83%	1.51%
12 series.	0,55%	1.01%
16 series.	0,41%	0,76%
32 series.	0,21%	0,38%

Tabla.2.16. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “B”.

Grupo de generadores “B”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	3.16%	5.94%
4 series.	1.58%	2.97%
6 series.	1.05%	1.98%
8 series.	0,79%	1.49%
12 series.	0,53%	0,99%
16 series.	0,40%	0,74%
32 series.	0.20%	0.37%

Tabla.2.17. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “C”.

Grupo de generadores “C”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	3.57%	7.32%
4 series.	1.79%	3.66%
6 series.	1.19%	2.44%
8 series.	0,89%	1.83%
12 series.	0,60%	1.22%
16 series.	0,45%	0,92%
32 series.	0,23%	0,46%

Tabla.2.18. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo “D”.

Grupo de generadores “C”	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	2.56%	8.05%
4 series.	2.08%	4.82%
6 series.	1.69%	3.52%
8 series.	1.33%	2.70%
12 series.	0,90%	1.81%
16 series.	0,68%	1.37%
32 series.	0,36%	0,70%

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.20 y 3.57% Y las pérdidas totales entre 0.37 y 8.05%. Rangos

de valores algo menores que en los generadores de 4 series y diferente nº de módulos en serie.

La Fig. 2.40. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de módulos en serie de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.41. la de las pérdidas totales.

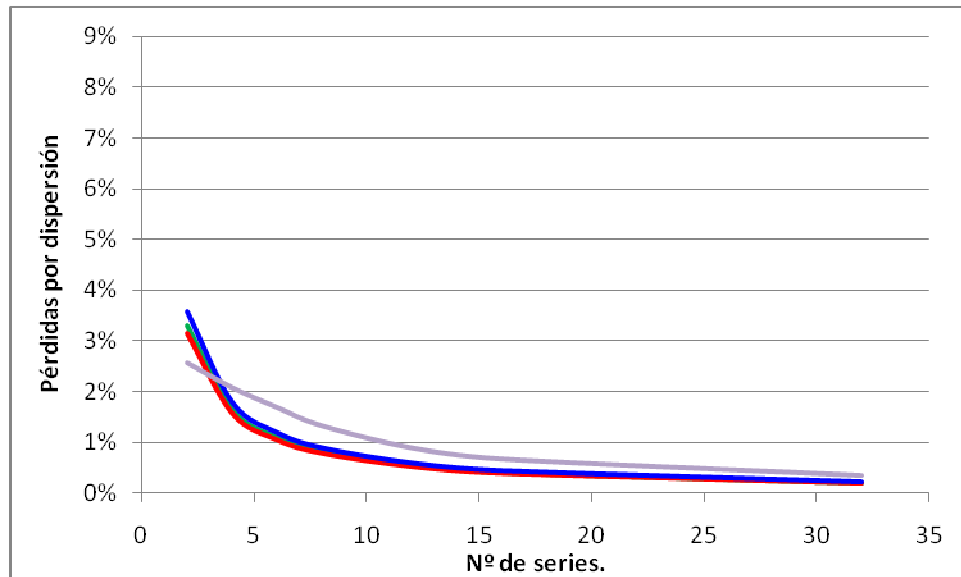


Fig.2.40. Pérdidas por dispersion de cada Grupo de generadores en funcion de nº de series.

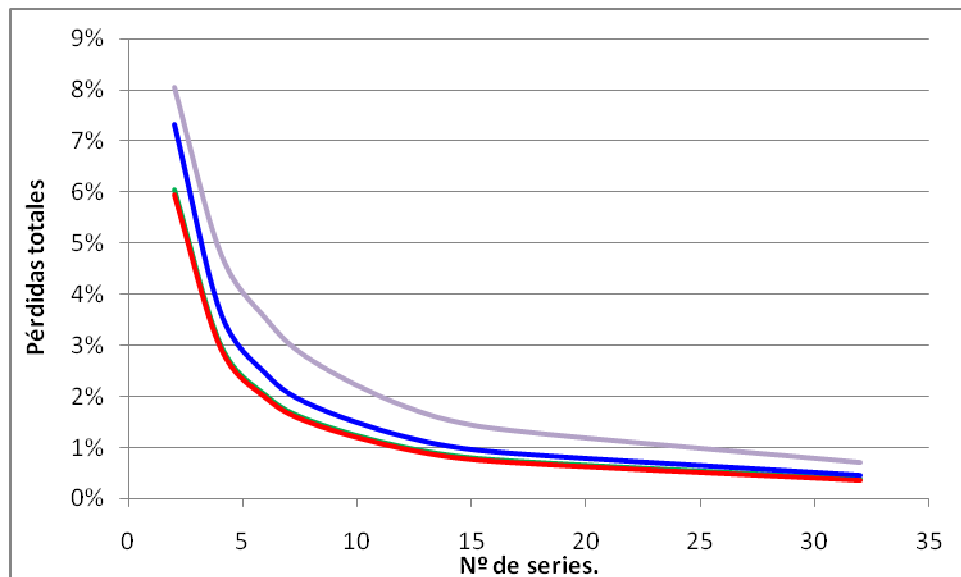


Fig.2.41. Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en funcion de nº de series.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de series, tal como se planteó en el apartado 2.5.3.

La Fig.2.42. muestra la evolución de las pérdidas por dispersión de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de series.

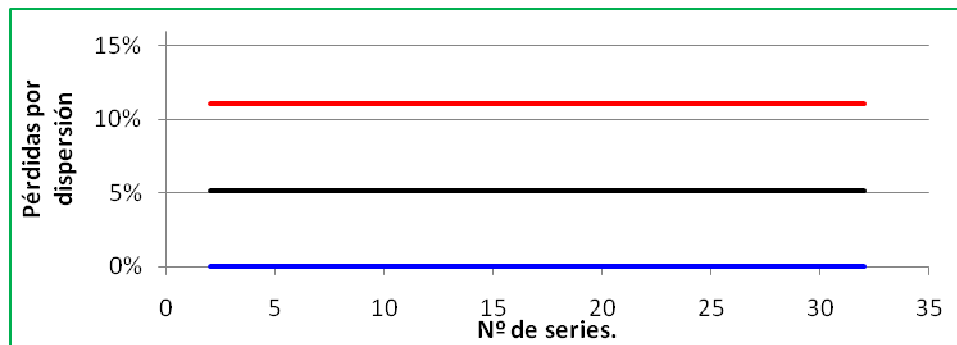
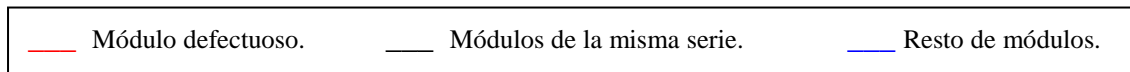


Fig.2.42.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de series.

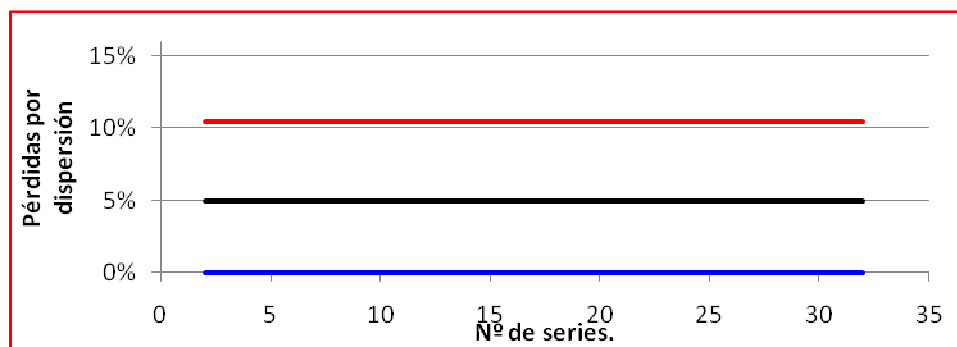


Fig.2.42.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de series.

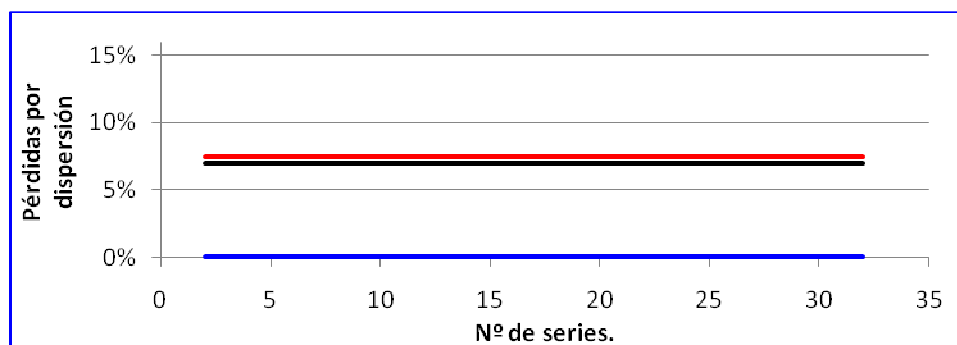


Fig.2.42.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de series.

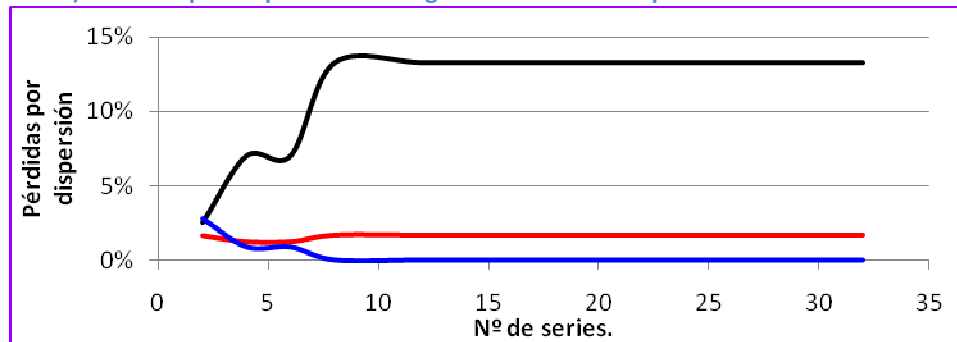


Fig.2.42.d) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "D" en función de nº de series.

Al igual que en el análisis de la influencia del nº de módulos en serie en este tipo de generadores, queda de manifiesto que tienden a mantener la tensión de las series, es decir, a no provocar grandes pérdidas en los módulos que no comparten serie con el defectuoso.

Cuanto menor es la corriente que pasa por los “strings” del módulo defectuoso, más se debe modificar la corriente de la serie defectuosa para mantener la tensión de las series.

Cuando el nº de series es pequeño, la importancia de la potencia aportada por los módulos de la serie defectuosa es grande, y por tanto puede ser necesaria una variación de la tensión de las series, para evitar grandes modificaciones en la corriente de la serie defectuosa.

Esto es únicamente apreciable cuando la corriente de los “strings” del módulo defectuoso es muy baja (Grupo de generadores “D”), ya que si no, la variación necesaria de corriente de la serie defectuosa para mantener la tensión de las series es muy poca.

Así, las pérdidas en el módulo defectuoso y en los módulos de su misma serie se mantienen constantes, con posibilidad de aumento conforme se incrementa el nº de módulos en serie y la del resto de módulos se mantiene en valores bajos.

Combinación de la influencia del nº de series y del nº de módulos en serie:

Dado que la influencia del aumento del nº de módulos en serie en un seguidor varía en función del nº de series del mismo y viceversa, a continuación se realizará un análisis de las pérdidas totales en seguidores de este tipo en función del nº de módulos en serie y del nº de series.

Las Fig.2.43. y 2.44. permiten conocer las pérdidas totales de un seguidor con un módulo de baja corriente en sus “strings” en función de su configuración.

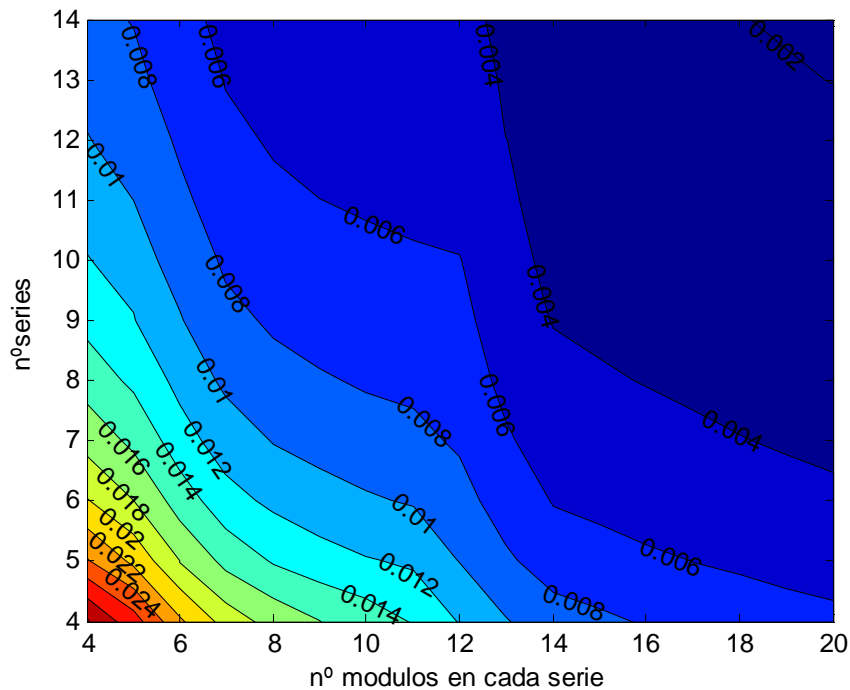
La Fig.2.43. muestra dichas pérdidas en el caso de generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno idéntico al módulo defectuoso de los generadores del Grupo “A”, y la Fig.2.44. al de los generadores del Grupo “C”.

Se ponen de manifiesto los resultados obtenidos en los anteriores análisis. Las pérdidas totales de un seguidor disminuyen conforme aumenta el nº de módulos en serie y el nº de series, es decir, los generadores formados por menos módulos son los que tienen más pérdidas en porcentaje.

Además, se observa de nuevo que cuanto menor es la corriente que pasa por los “strings” de los módulos defectuosos de los generadores, mayores son sus pérdidas para una misma configuración.

Al alcanzar un número muy elevado de módulos en serie y series, la disminución de las pérdidas es prácticamente inapreciable.

Las menores pérdidas que se pueden obtener están en torno a 0.4% en ambos casos.



2.5.5. Tensión de Circuito Abierto BAJA.

- Influencia del nº de módulos en serie:

En cada una de las Fig. 2.45., 2.46., 2.47. y 2.48, se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores “A”, Grupo de generadores “B”, Grupo de generadores “C” y Grupo de generadores “D”), cada uno con 4 series y un nº de módulos en serie diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con baja tensión de circuito abierto (V_{oc}).

En cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de V_{oc} diferente, siendo la de la 2.45. la de mayor valor, y la de la 2.48. la de menor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del nº de módulos en serie del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo “A”: verde.
- Grupo “B”: rojo.
- Grupo “C”: azul.
- Grupo “D”: morado.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

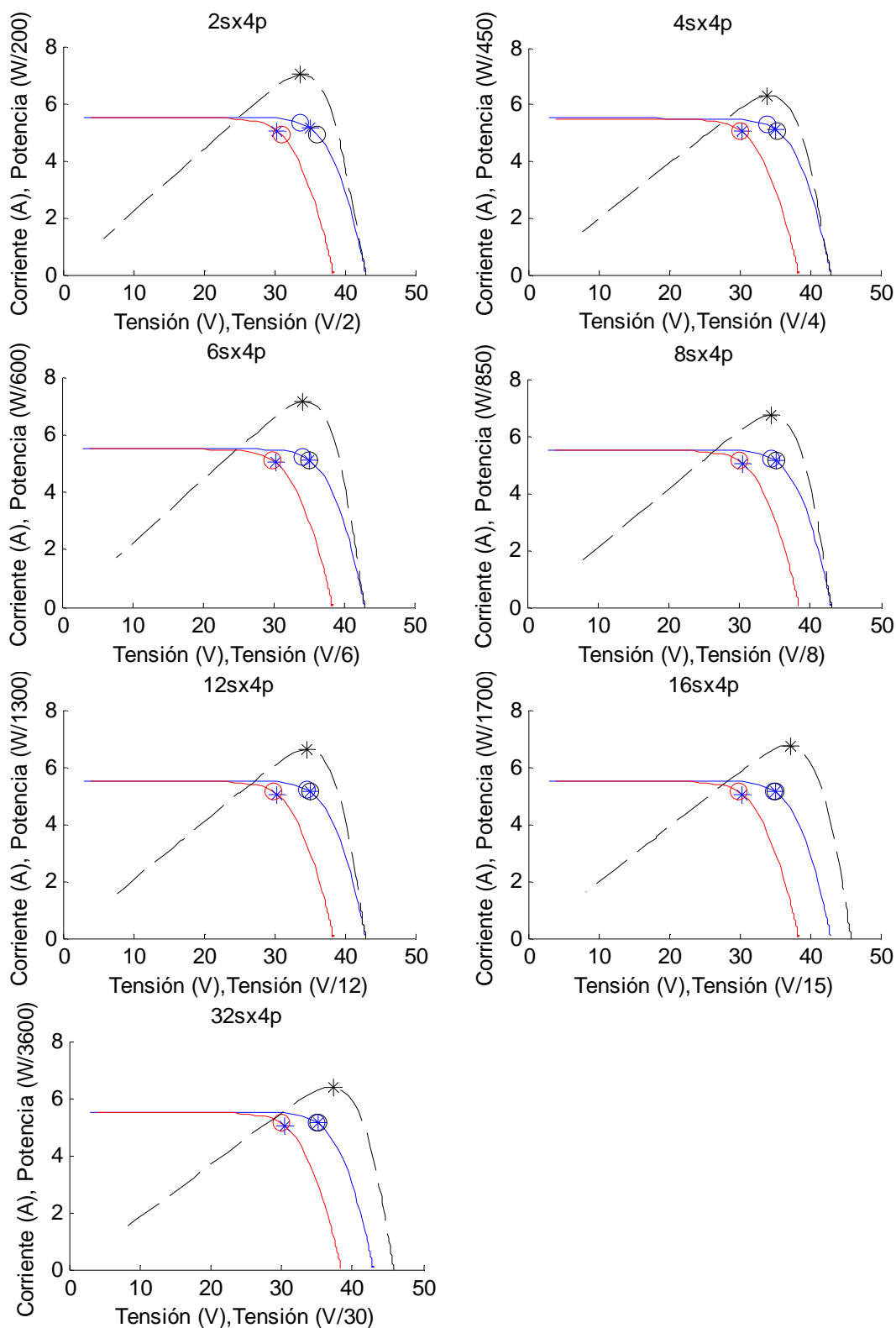


Fig.2.45. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de baja Voc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

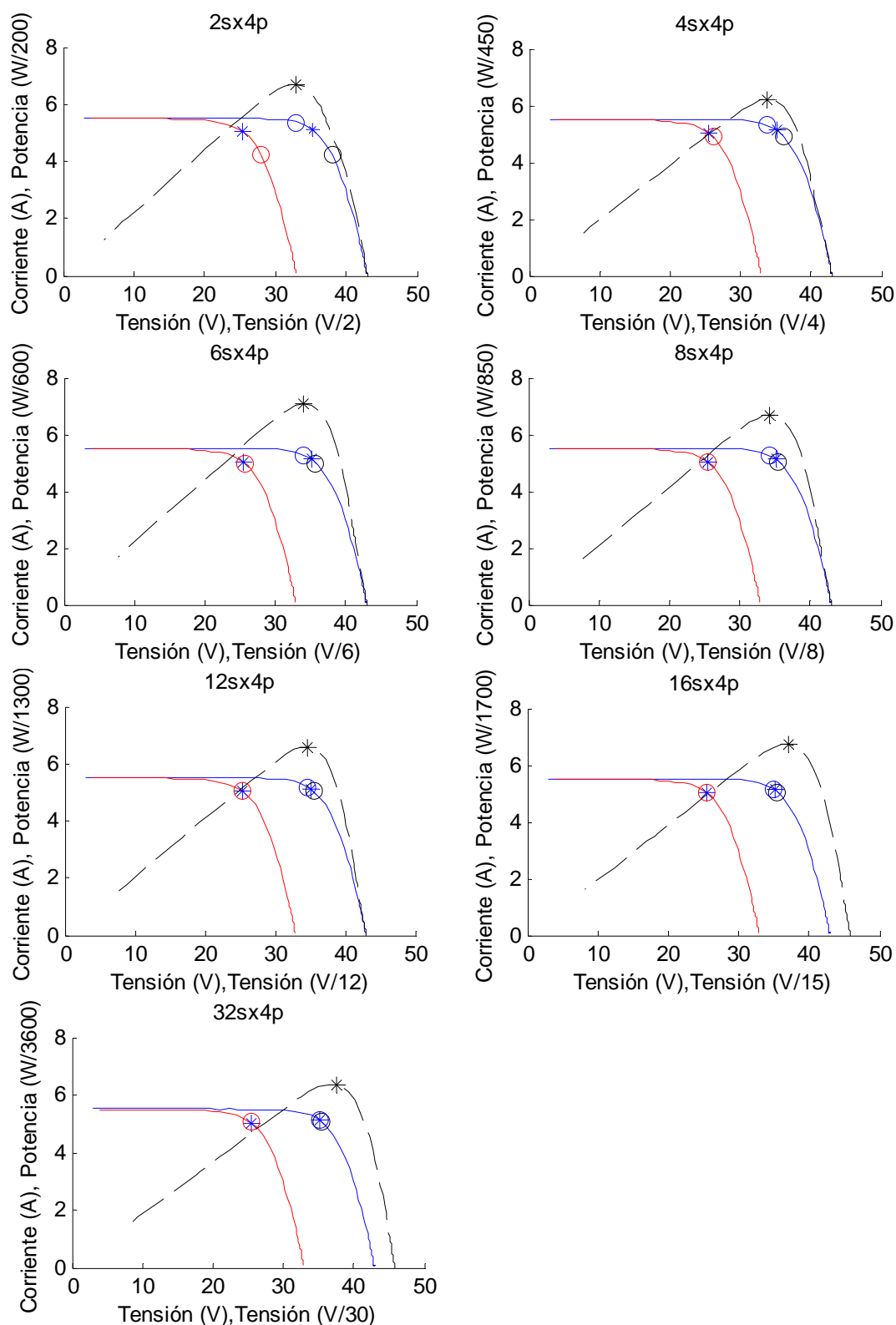


Fig.2.46. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de baja Voc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

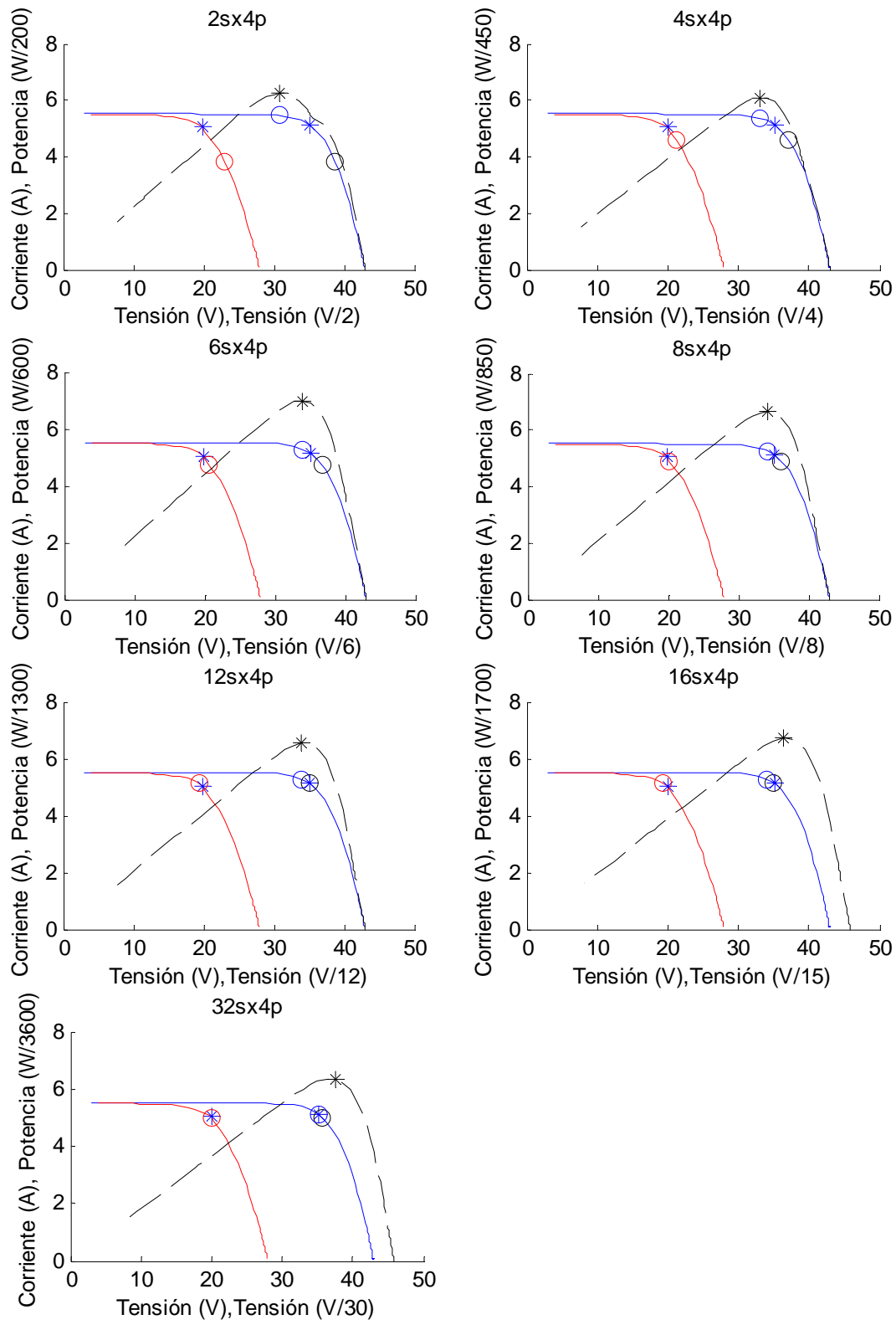


Fig.2.47. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de baja Voc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "D"

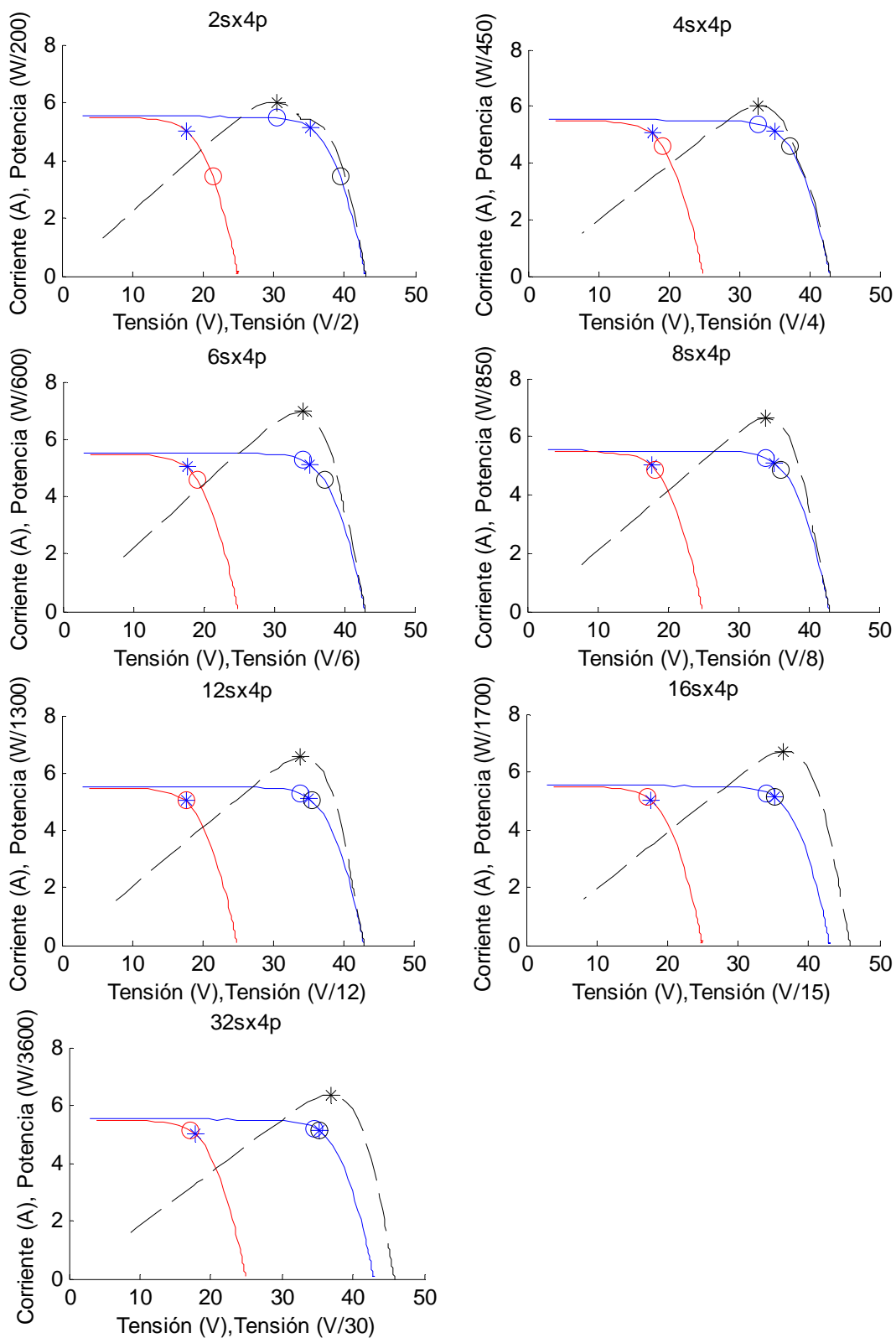


Fig.2.48. Curvas P-V de seguidores del Grupo "D", con un módulo de baja V_{oc} y curvas I-V de sus módulos.

En el apartado 2.4.2. se vio como los generadores 9sx4p con un módulo de baja Voc. tendían a variar lo menos posible la tensión de las series, mediante la modificación de la corriente de la serie defectuosa. En la mayoría de los casos tanto la tensión de las serie como la corriente de la serie defectuosa se modificaban levemente.

Ahora se ve como este comportamiento es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº de módulos en serie, produciéndose una mayor modificación de la tensión de las series y la corriente de la serie defectuosa conforme menor es el nº de módulos en serie.

En las tablas 2.19., 2.20., 2.21. y 2.22. se muestran las pérdidas que estas variaciones provocan.

Tabla.2.19. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "A".

Grupo de generadores "A"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	0,86%	2.70%
4 módulos en serie	0,23%	1.15%
6 módulos en serie	0,12%	0,73%
8 módulos en serie	0,08%	0,54%
12 módulos en serie	0,05%	0,36%
16 módulos en serie	0,03%	0,26%
32 módulos en serie	0,02%	0,13%

Tabla.2.20. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "B".

Grupo de generadores "B"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	3.18%	6.78%
4 módulos en serie	0,81%	2.60%
6 módulos en serie	0,35%	1.55%
8 módulos en serie	0,24%	1.14%
12 módulos en serie	0,18%	0,78%
16 módulos en serie	0,16%	0,60%
32 módulos en serie	0.13%	0.35%

Tabla.2.21. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "C".

Grupo de generadores "C"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	7.77%	13.29%
4 módulos en serie	2.12%	4.87%
6 módulos en serie	0,97%	2.80%
8 módulos en serie	0,54%	1.92%
12 módulos en serie	0,35%	1.27%
16 módulos en serie	0,19%	0,88%
32 módulos en serie	0,20%	0,54%

Tabla.2.22. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "D".

Grupo de generadores "D"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	9.93%	16.21%
4 módulos en serie	2.67%	5.81%
6 módulos en serie	1.30%	3.39%
8 módulos en serie	0,63%	2.20%
12 módulos en serie	0,32%	1.36%
16 módulos en serie	0,18%	0,97%
32 módulos en serie	0,07%	0,47%

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.02 y 9.93% Y las pérdidas totales entre 0.13 y 16.21%.

La Fig. 2.49. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de módulos en serie de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.50. la de las pérdidas totales.

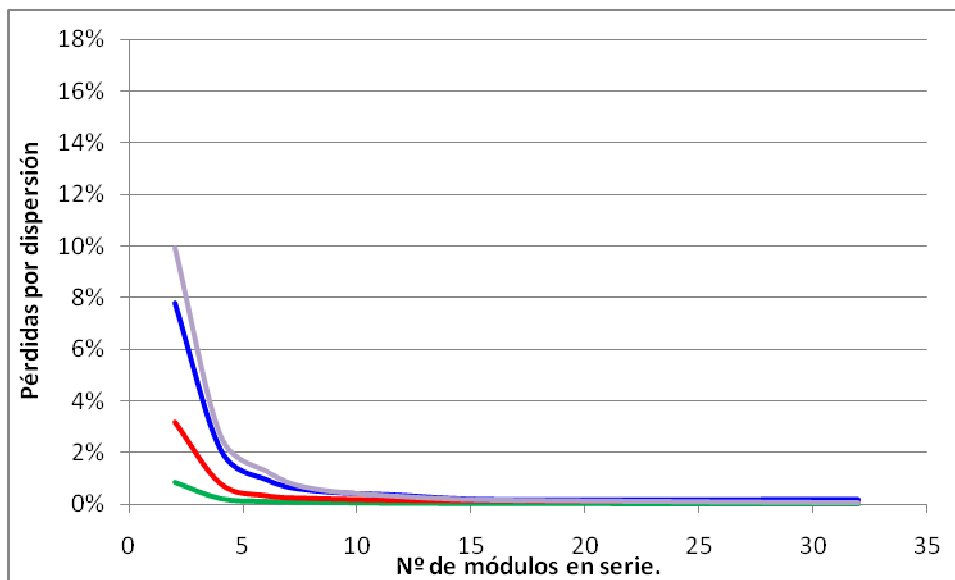


Fig.2.49.Pérdidas por dispersion de cada Grupo de generadores en funcion de nº de mod. en serie.

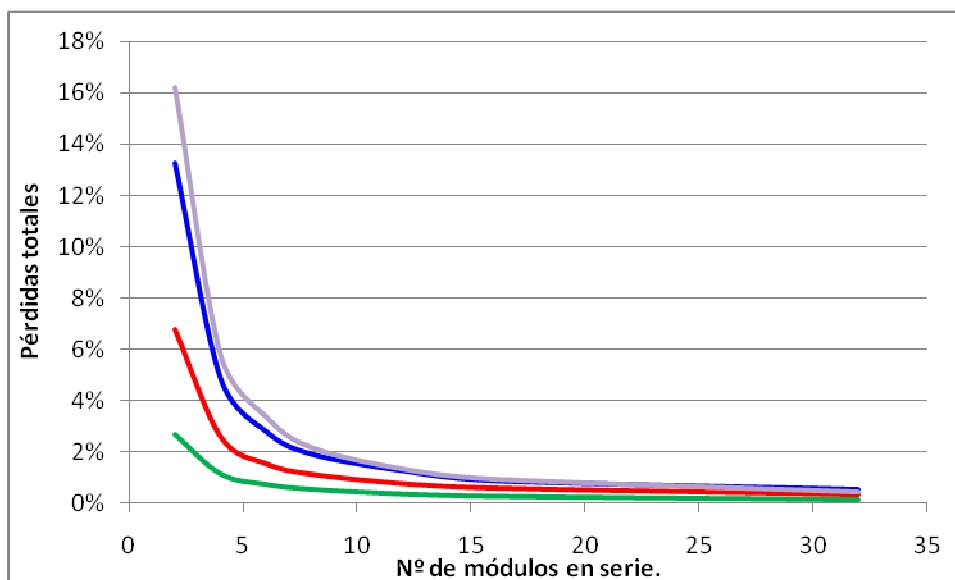


Fig.2.50.Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en funcion de nº de mod. en serie.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de módulos en serie, tal como se planteó en el apartado 2.5.2. Así como el aumento de las mismas cuanto mayor es la magnitud del defecto.

La Fig.2.51. muestra la evolución de las pérdidas por dispersión de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de módulos en serie.

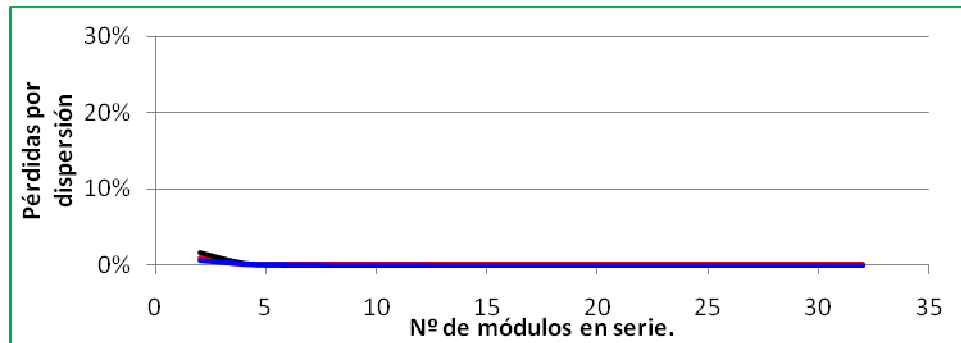
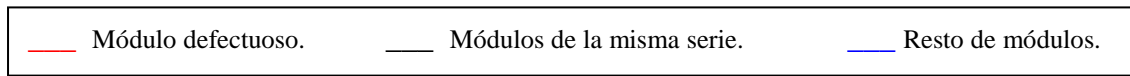


Fig.2.51.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de mód. en serie.

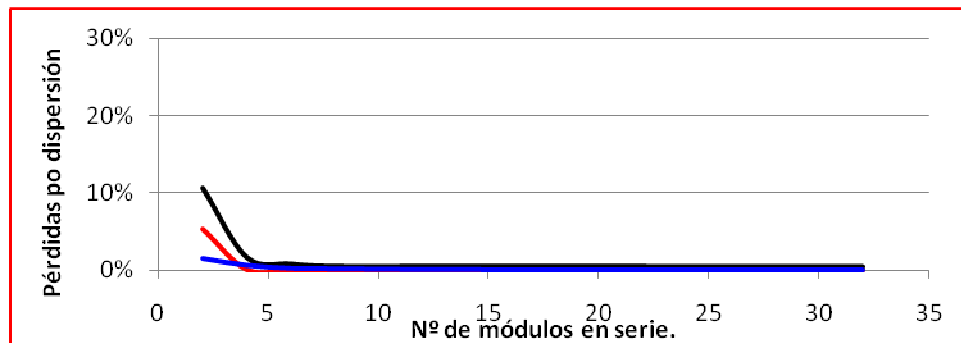


Fig.2.51.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de mód. en serie.

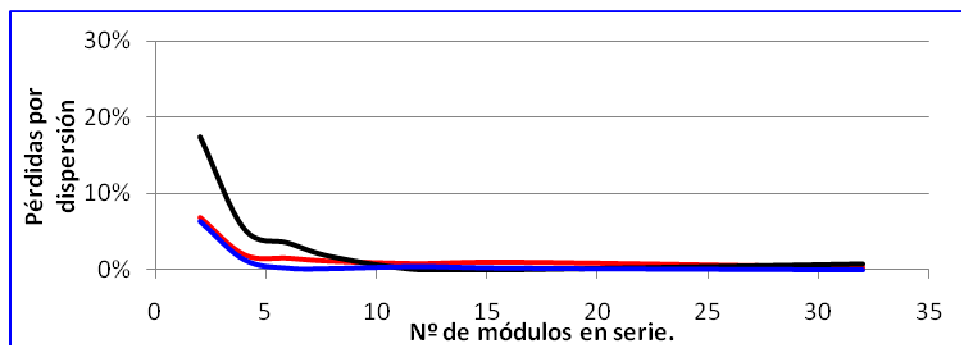


Fig.2.51.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de mód. en serie.

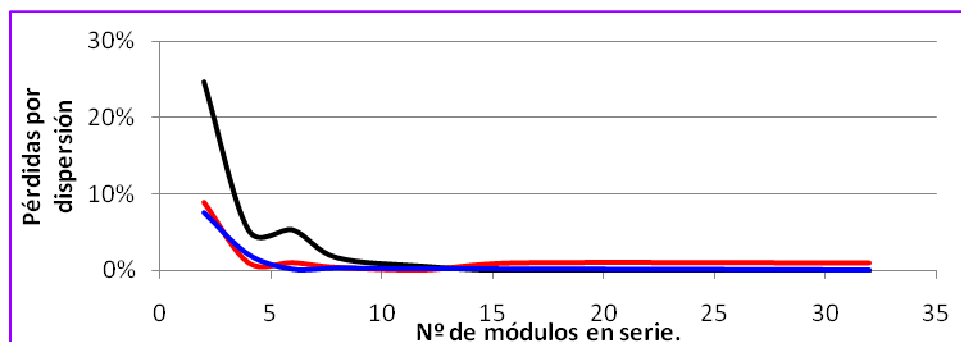


Fig.2.51.d) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "D" en función de nº de mód. en serie.

Queda de manifiesto el predominio de los módulos que no pertenecen a la misma serie que el módulo defectuoso para cualquier n° de módulos en serie. Las pérdidas en este tipo de seguidores son las menores en prácticamente todos los casos.

Además se aprecia como las pérdidas en los módulos de la serie defectuosa adquieren importancia conforme aumenta el n° de módulos en serie, y por lo tanto sus pérdidas disminuyen, siendo especialmente altas en seguidores de muy pocos módulos en serie y con un módulo muy defectuoso.

- Influencia del n° de series:

En cada una de las Fig. 2.52., 2.53. 2.54. y 2.55. se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores "A", Grupo de generadores "B", Grupo de generadores "C" y Grupo de generadores "D"). Esta vez, cada uno de ellos consta de 4 módulos en serie y un n° series diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con baja tensión de circuito abierto (V_{oc}) .

Al igual que para el análisis de la influencia del n° de módulos en serie, en cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de V_{oc} . diferente, siendo la de la 2.52. la de mayor valor, y la de la 2.55. la de menor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del n° de módulos en serie del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo "A": verde.
- Grupo "B": rojo.
- Grupo "C": azul.
- Grupo "D": morado.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

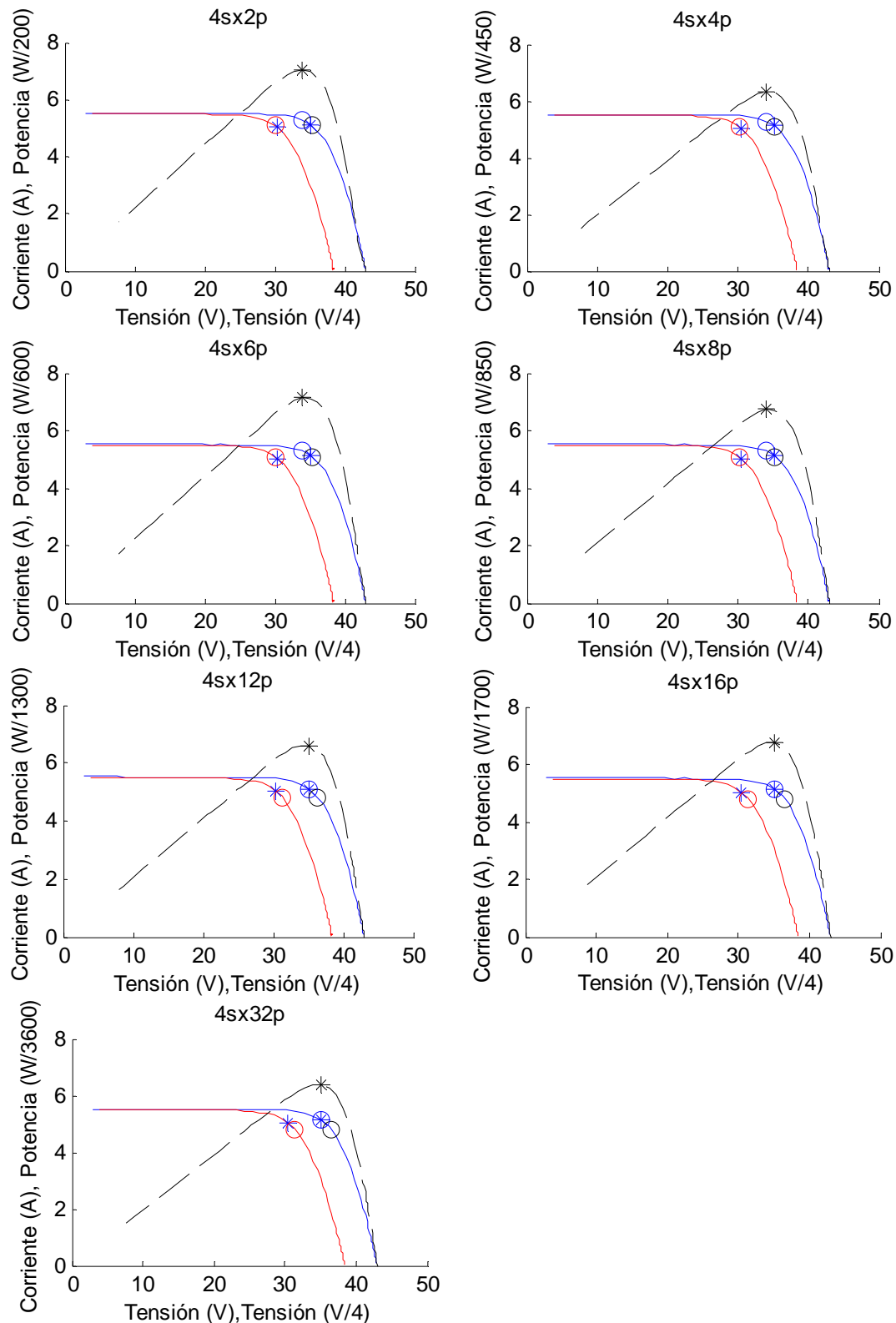


Fig.2.52. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de baja Voc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

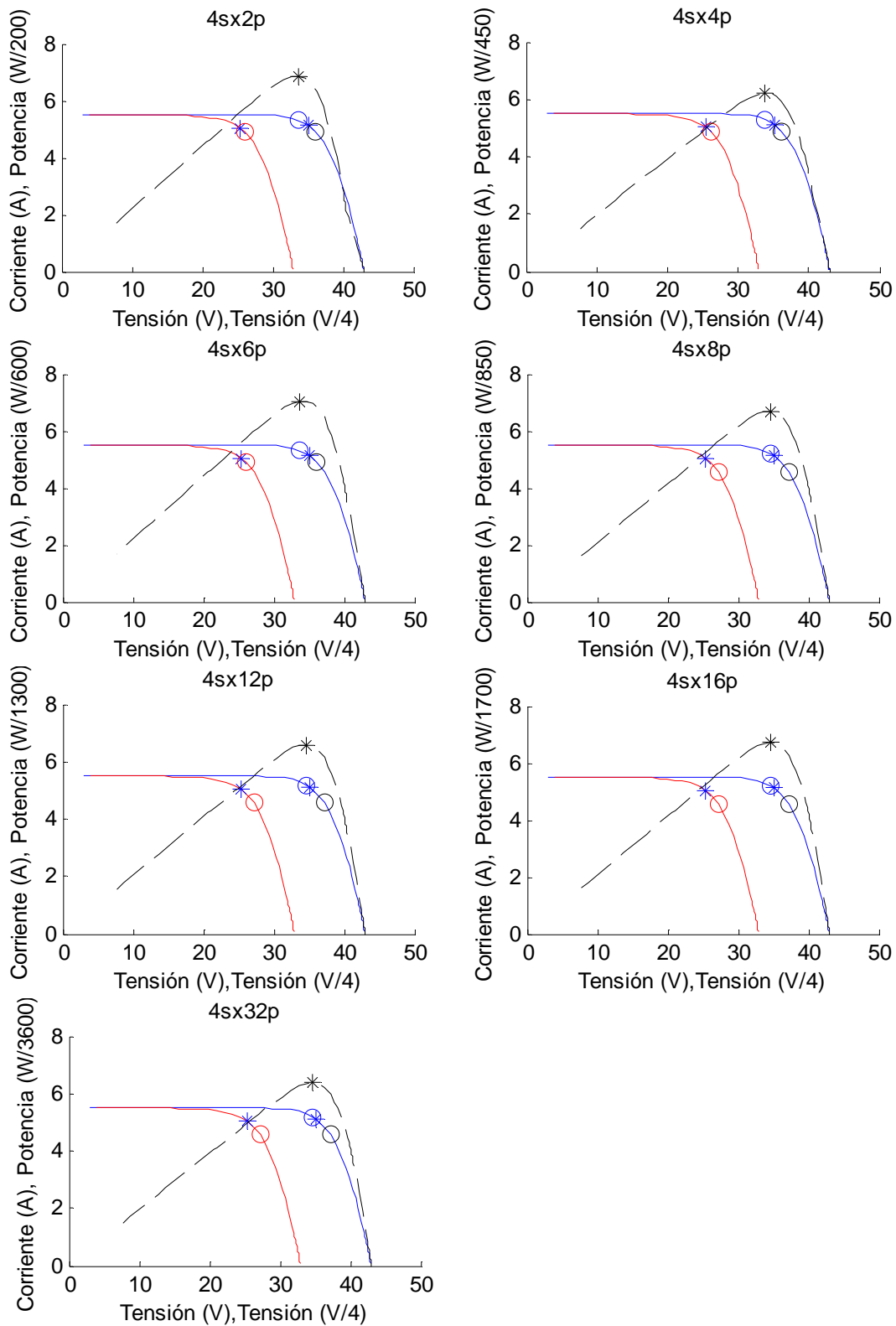


Fig.2.53. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de baja Voc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

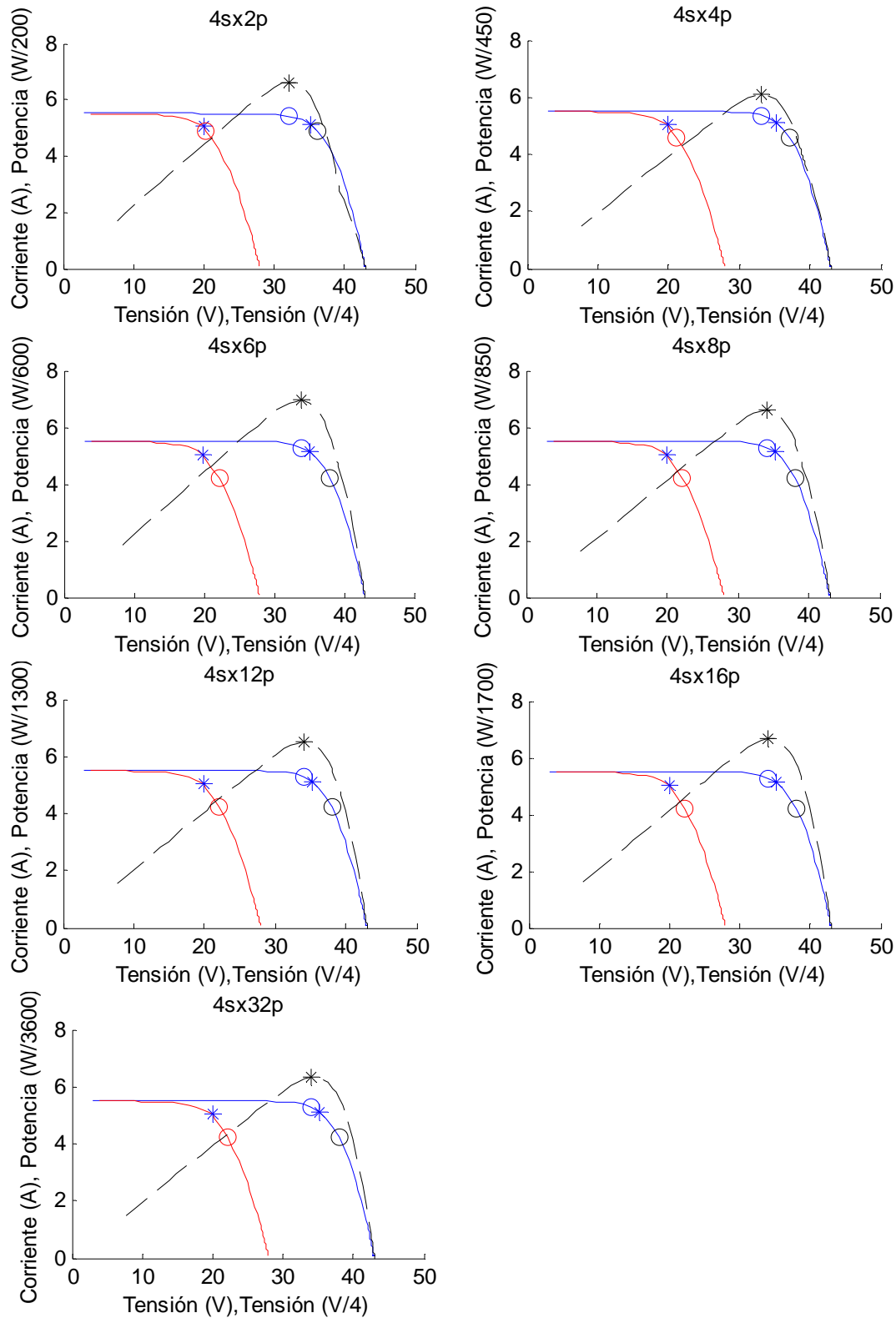


Fig.2.54. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de baja Voc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "D"

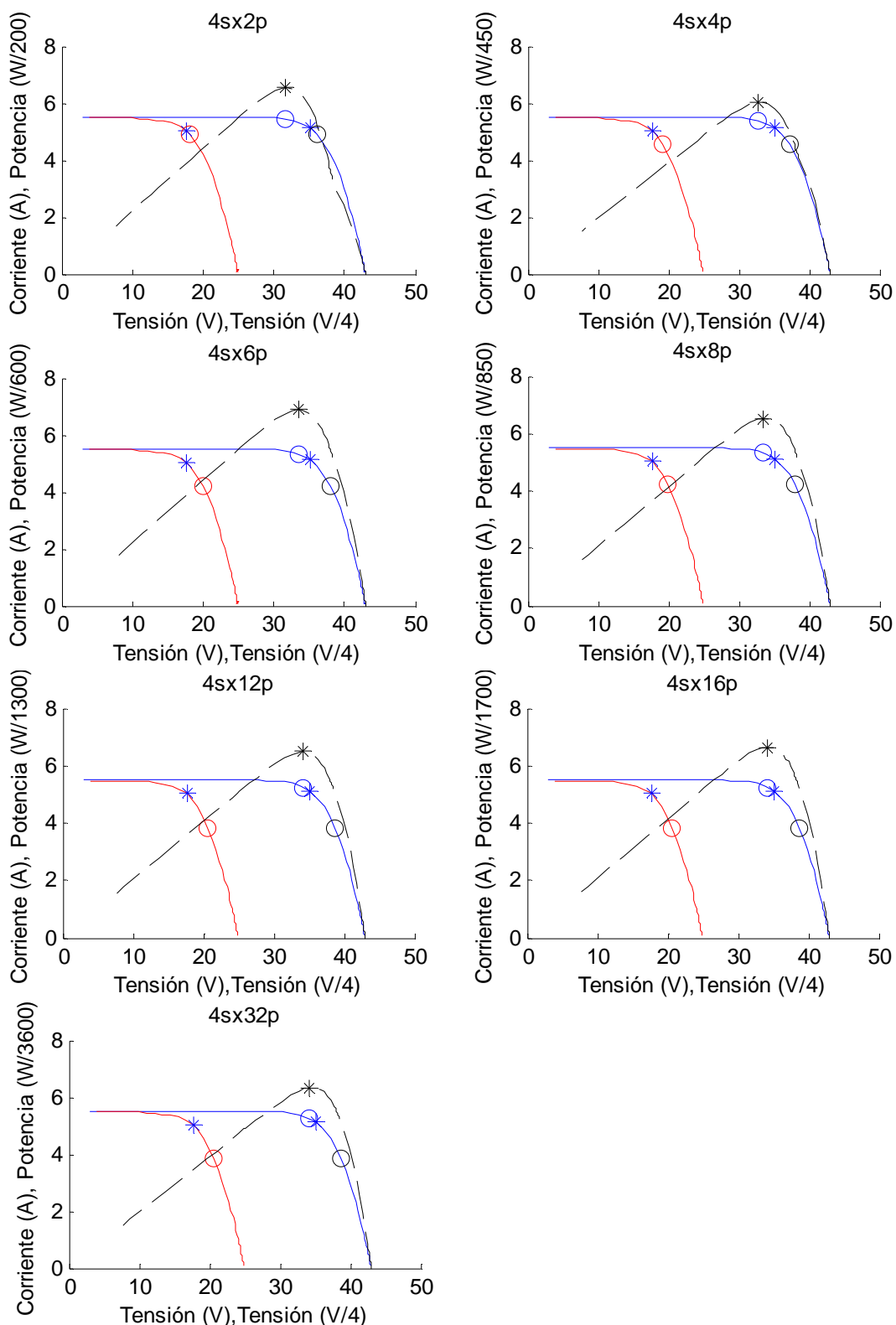


Fig.2.55. Curvas P-V de seguidores del Grupo "D", con un módulo de baja Voc. y curvas I-V de sus módulos.

En el análisis de la influencia del nº de módulos en serie en un seguidor con un módulo de baja Voc. se comprobó que el comportamiento de los módulos tendía a variar lo menos posible la tensión de las series, mediante la modificación de la corriente de la serie defectuosa. En la mayoría de los casos tanto la tensión de las serie como la corriente de la serie defectuosa se modificaban levemente, más cuanto menor era el nº de módulos en serie.

Ahora se ve como este comportamiento es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº de series. Pero en este caso tensión de las series se modifica menos cuanto mayor es el nº de módulos en serie, mientras que la corriente de la serie defectuosa disminuye más.

En las tablas 2.22., 2.23., 2.24. y 2.25. se muestran el Vp.u. pérdidas que esta variaciones provocan.

Tabla.2.22. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "A".

Grupo de generadores "A"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	0,23%	2.06%
4 series.	0,23%	1.15%
6 series.	0,23%	0,84%
8 series.	0,23%	0,69%
12 series.	0,19%	0,50%
16 series.	0,14%	0,37%
32 series.	0,07%	0,19%

Tabla.2.23. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "B".

Grupo de generadores "B"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	0,97%	4.57%
4 series.	0,81%	2.60%
6 series.	0,75%	1.95%
8 series.	0,63%	1.53%
12 series.	0,45%	1.05%
16 series.	0,35%	0,80%
32 series.	0.22%	0.44%

Tabla.2.24. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "C".

Grupo de generadores "C"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	2.33%	7.84%
4 series.	2.12%	4087%
6 series.	1.68%	3.52%
8 series.	1.32%	2.69%
12 series.	0,95%	1.87%
16 series.	0,77%	1.46%
32 series.	0,50%	0,84%

Tabla.2.25. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "D".

Grupo de generadores "D"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	2.84%	9.12%
4 series.	2.67%	5.81%
6 series.	2.20%	4.29%
8 series.	1.87%	3.44%
12 series.	1.36%	2.41%
16 series.	1.07%	1.85%
32 series.	0,62%	1.01%

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.07 y 2.84% Y las pérdidas totales entre 0.19 y 9.12%. Rangos de valores con las máximas bastante menores que en los generadores de 4 series y diferente nº de módulos en serie.

La Fig. 2.56. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de módulos en serie de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.57. la de las pérdidas totales.

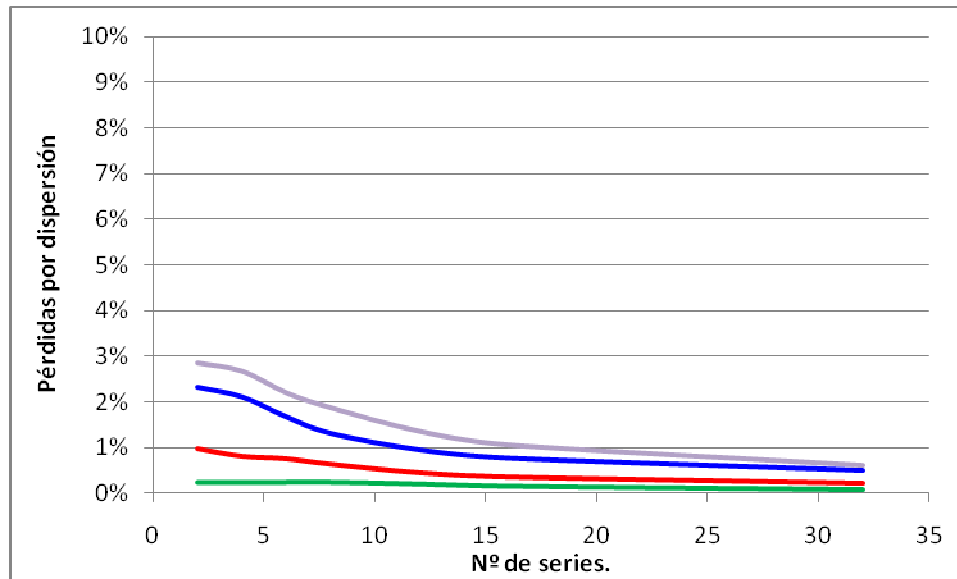


Fig.2.56. Pérdidas por dispersion de cada Grupo de generadores en funcion de nº de series.

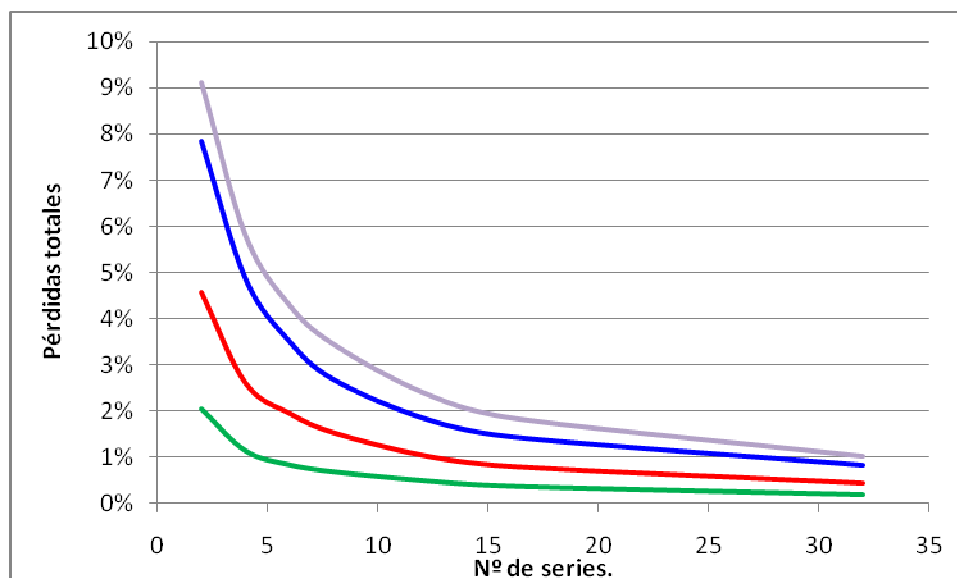


Fig.2.57. Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en funcion de nº de series.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de series, tal como se planteó en el apartado 2.5.3.

La Fig.2.58. muestra la evolución de las pérdidas por dispersión de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de series.

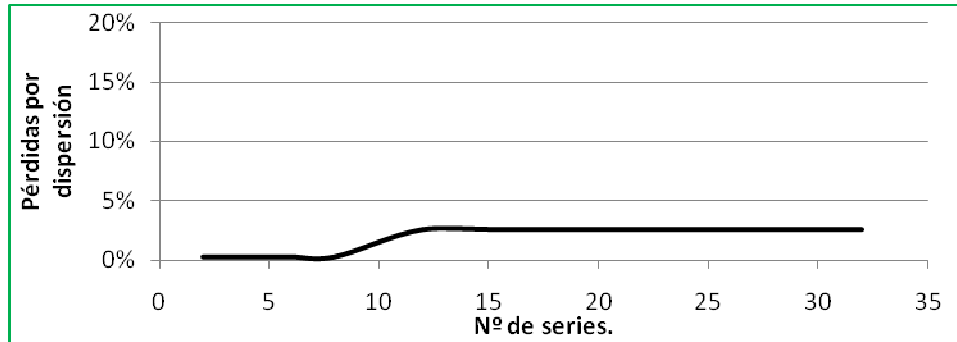
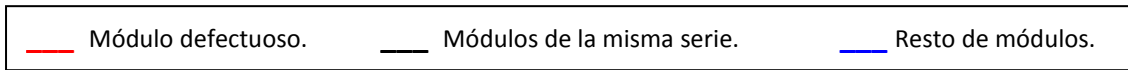


Fig.2.58.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de series.

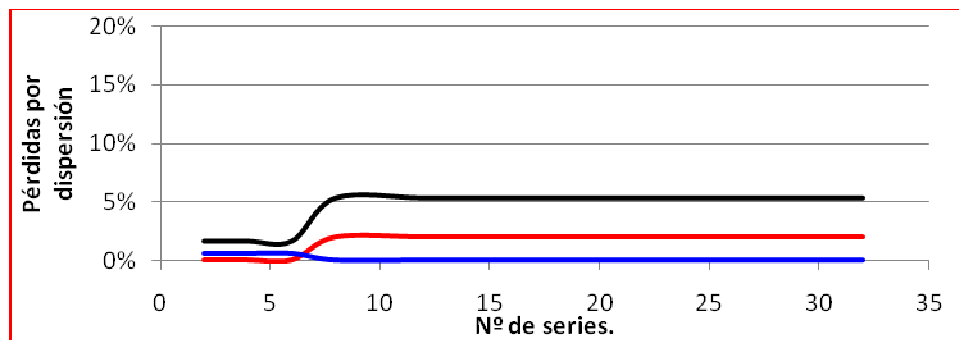


Fig.2.58.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de series.

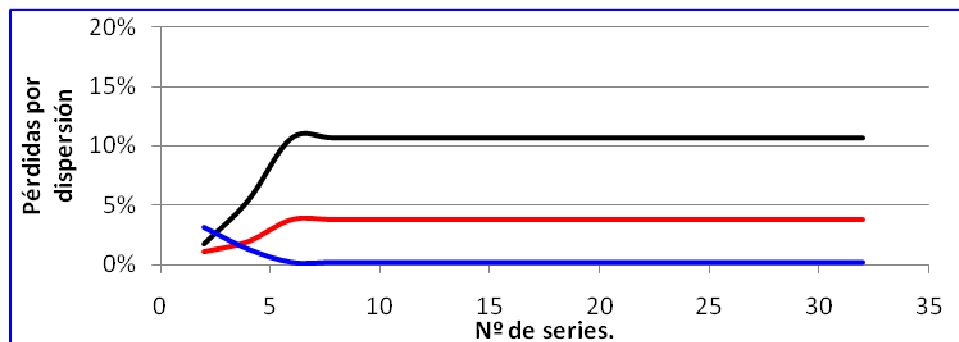


Fig.2.58.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de series.

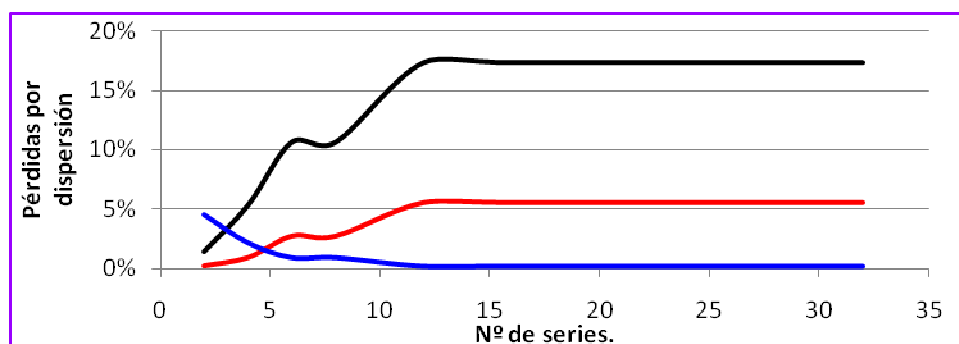


Fig.2.58.d) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "D" en función de nº de series.

Al igual que en el análisis de la influencia del nº de módulos en serie en este tipo de generadores, queda de manifiesto que tienden a mantener la tensión de las series, es decir, a no provocar grandes pérdidas en los módulos que no comparten serie con el defectuoso.

Al aumentar el nº de series, los módulos que de la serie defectuosa pierden importancia y como se puede apreciar sus pérdidas aumentan hasta un límite.

Dicho límite se alcanza para un nº mayor de series cuanto mayor es la magnitud del defecto.

Combinación de la influencia del nº de series y del nº de módulos en serie:

Dado que la influencia del aumento del nº de módulos en serie en un seguidor varía en función del nº de series del mismo y viceversa, a continuación se realizará un análisis de las pérdidas totales en seguidores de este tipo en función del nº de módulos en serie y del nº de series.

Las Fig.2.59. y 2.60. permiten conocer las pérdidas totales de un seguidor con un módulo de baja Voc. en función de su configuración.

La Fig.2.59. muestra dichas pérdidas en el caso de generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno idéntico al módulo defectuoso de los generadores del Grupo "A", y la Fig.2.60. al de los generadores del Grupo "B".

Se ponen de manifiesto los resultados obtenidos en los anteriores análisis. Las pérdidas totales de un seguidor disminuyen conforme aumenta el nº de módulos en serie y el nº de series, es decir, los generadores formados por menos módulos son los que tienen más pérdidas en porcentaje.

Además, se observa de nuevo que cuanto menor es la Voc. de los módulos defectuoso de los generadores, mayores son sus pérdidas para una misma configuración.

Al alcanzar un número muy elevado de módulos en serie y series, la disminución de las pérdidas es prácticamente inapreciable.

Las menores pérdidas que se pueden obtener están en torno al 0.1% en ambos casos.

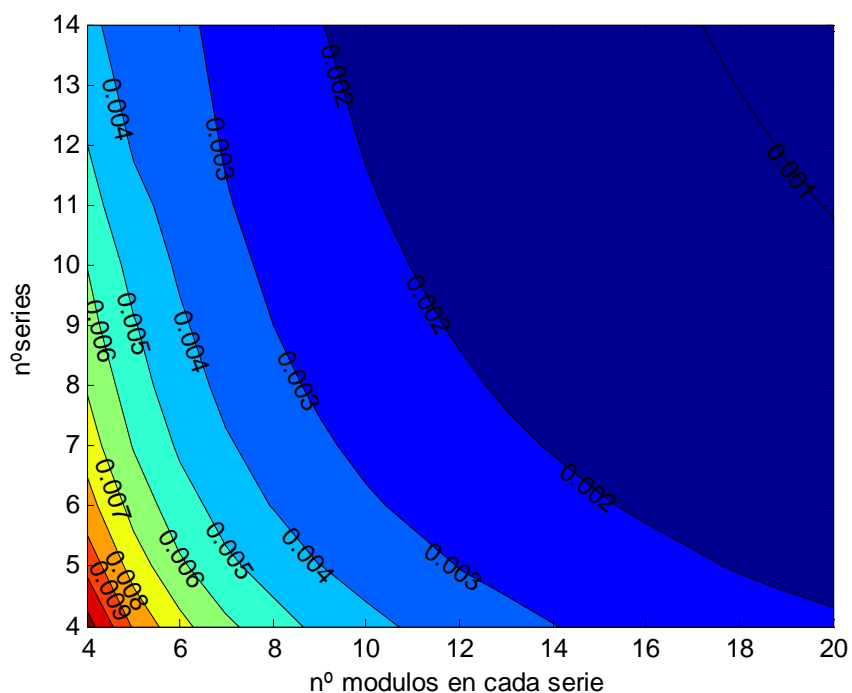


Fig.2.59. Pérdidas totales en Vp.u. en función de la configuración en seguidores con el módulo defectuoso idéntico a los del Grupo "A".

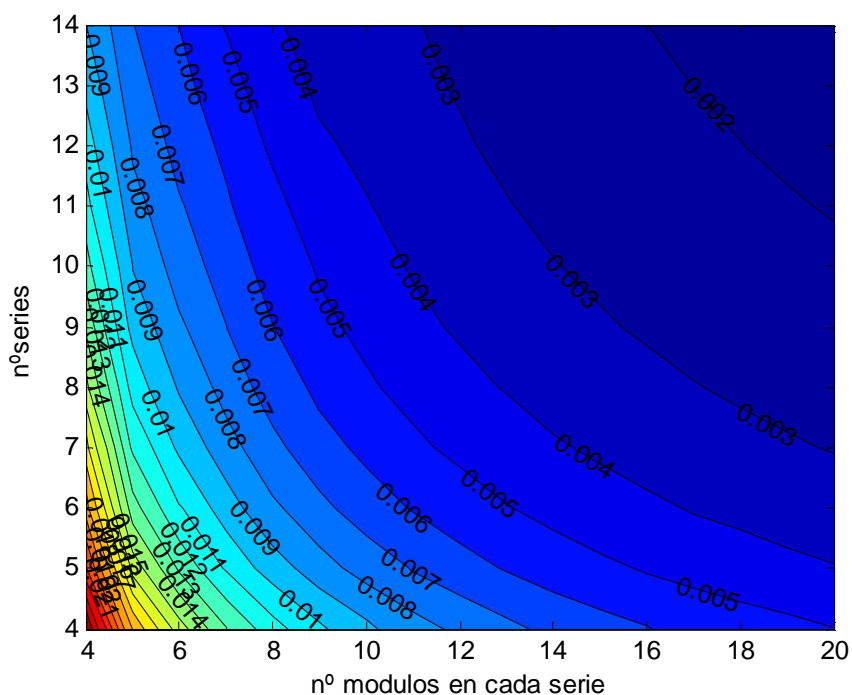


Fig.2.60. Pérdidas totales en Vp.u. en función de la configuración en seguidores con el módulo defectuoso idéntico a los del Grupo "B".

2.5.6. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO BAJA

- Influencia del nº de módulos en serie:

En cada una de las Fig. 2.61., 2.62., 2.63., 2.64 y 2.65. se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores “A”, Grupo de generadores “B”, Grupo de generadores “C”, Grupo de generadores “D” y Grupo de generadores “E”), cada uno con 4 series y un nº de módulos en serie diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con baja corriente de cortocircuito (I_{sc}).

En cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de I_{sc} diferente, siendo la de la 2.61. la de mayor valor, y la de la 2.65. la de menor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del nº de módulos en serie del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo “A”: verde.
- Grupo “B”: rojo.
- Grupo “C”: azul.
- Grupo “D”: morado.
- Grupo “E”: naranja.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

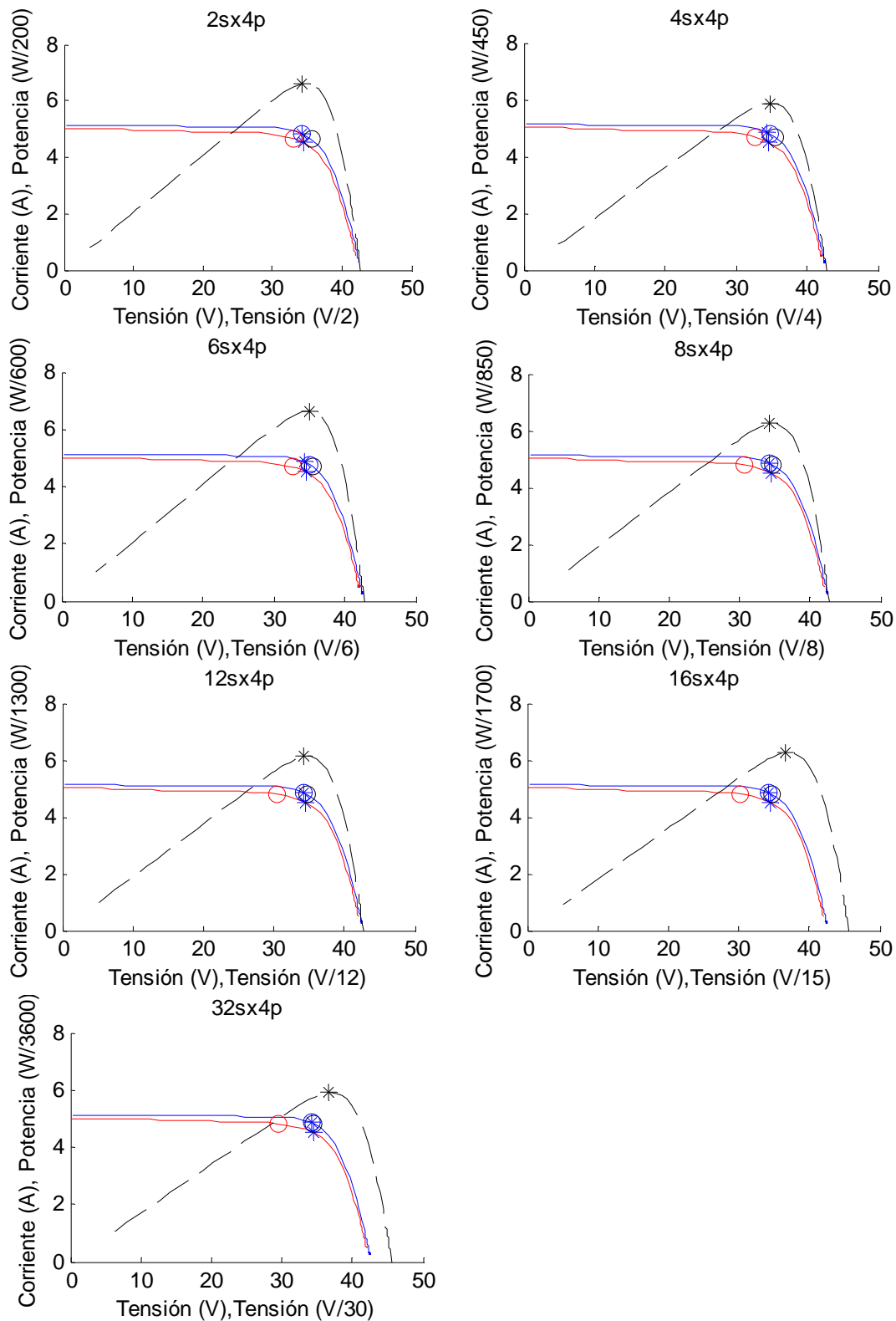


Fig. 2.61. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de baja I_{sc} y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

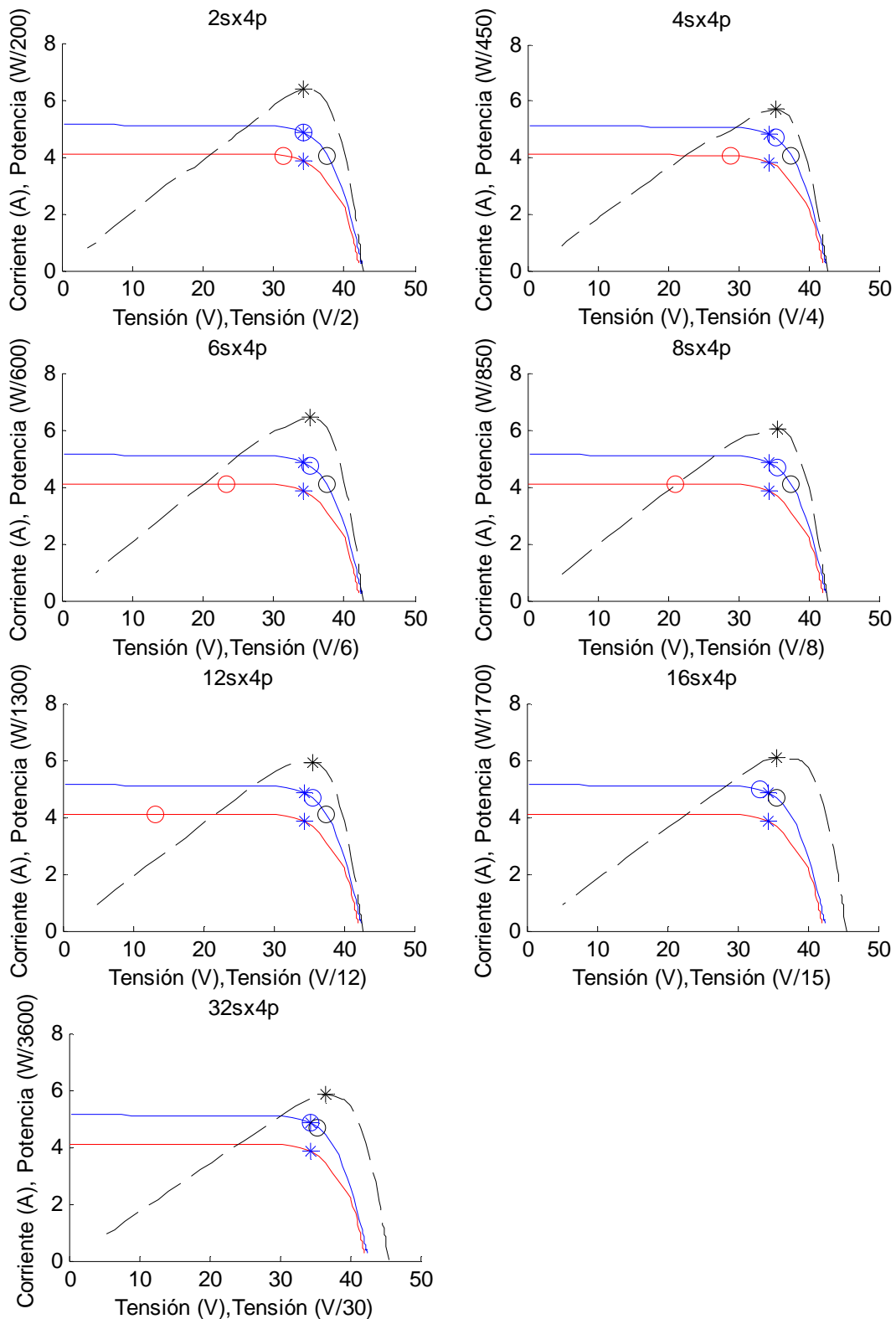


Fig.2.62. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de baja Isc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

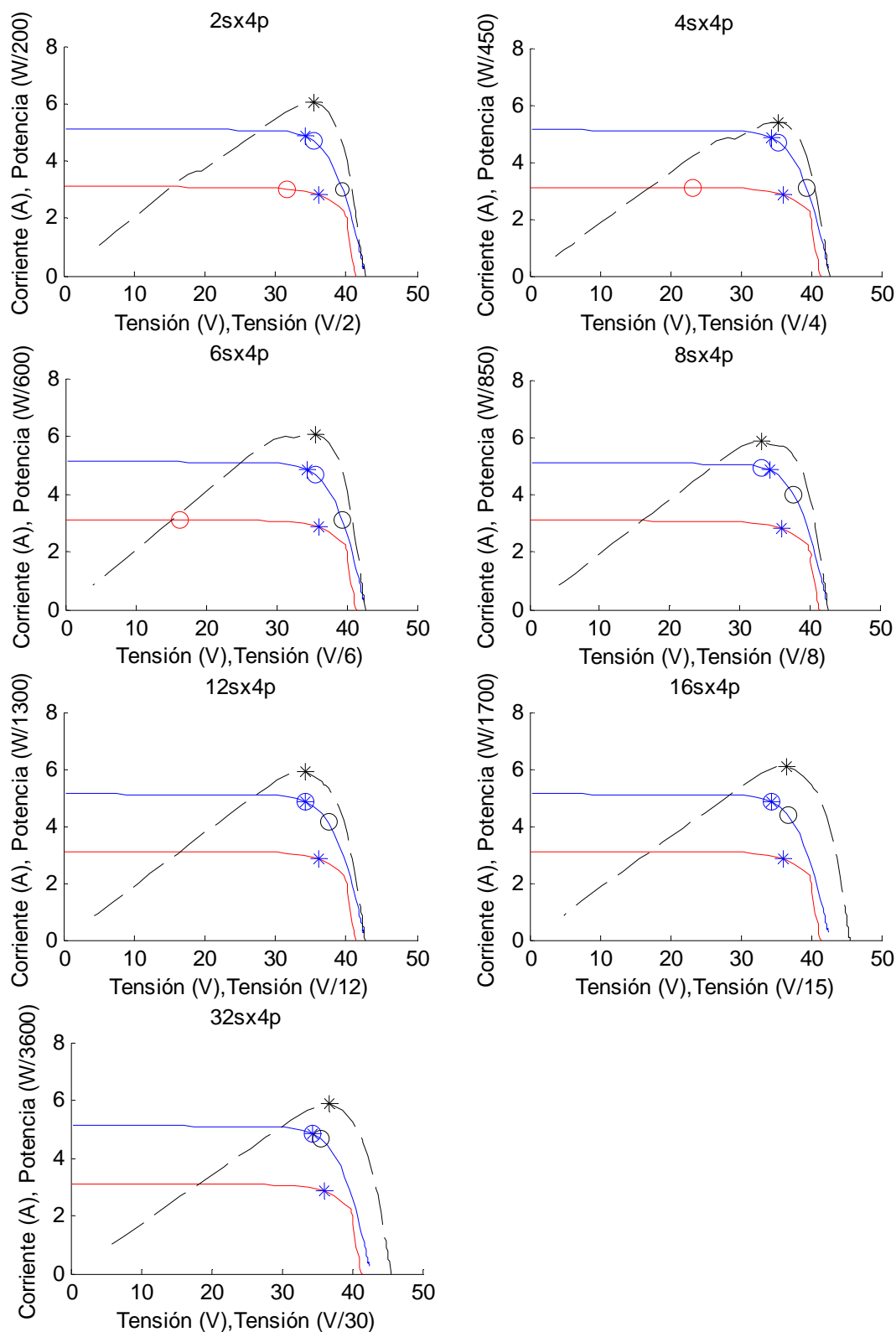


Fig. 2.63. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de baja Isc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "D"

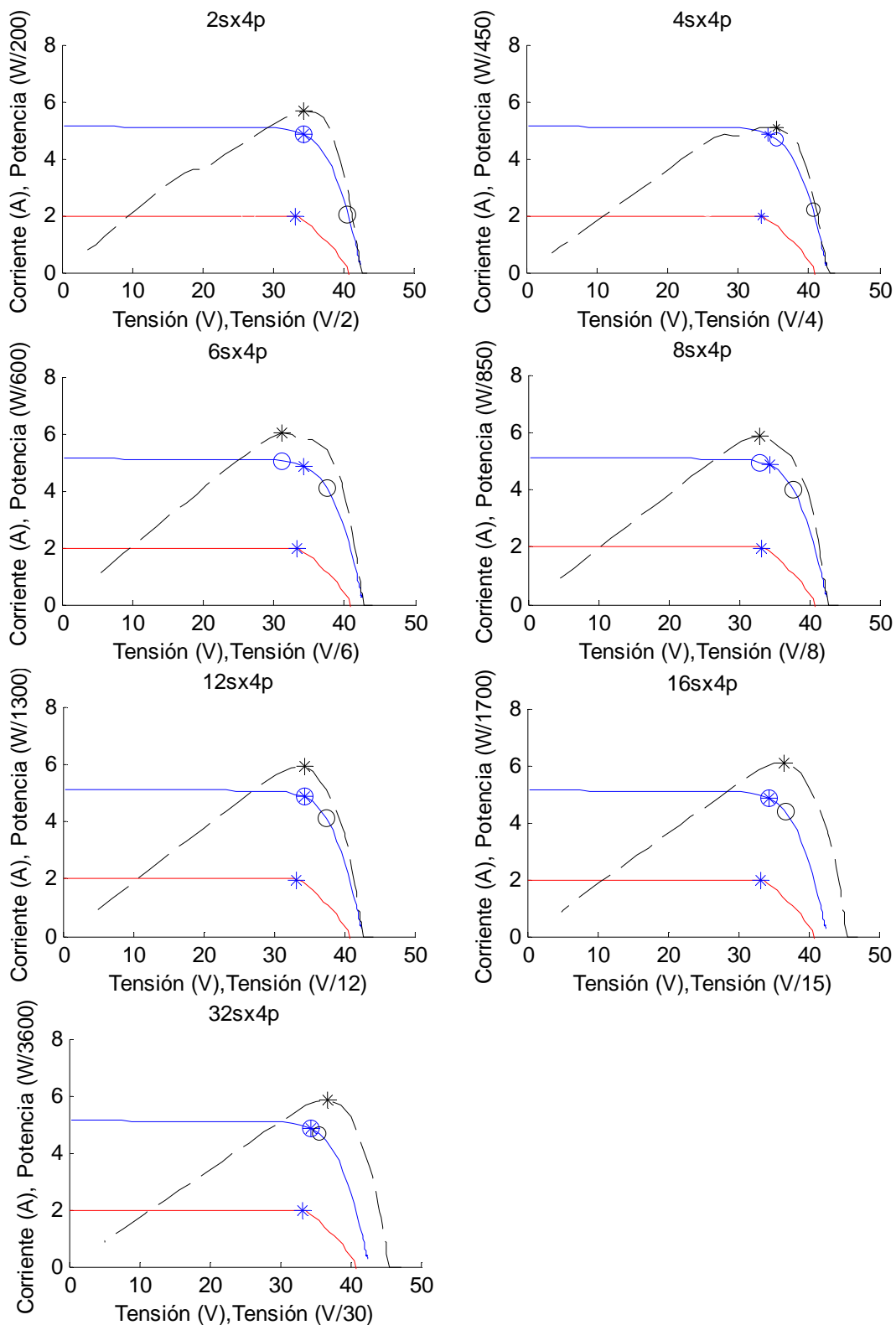


Fig.2.64. Curvas P-V de seguidores del Grupo "D", con un módulo de baja Isc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "E"

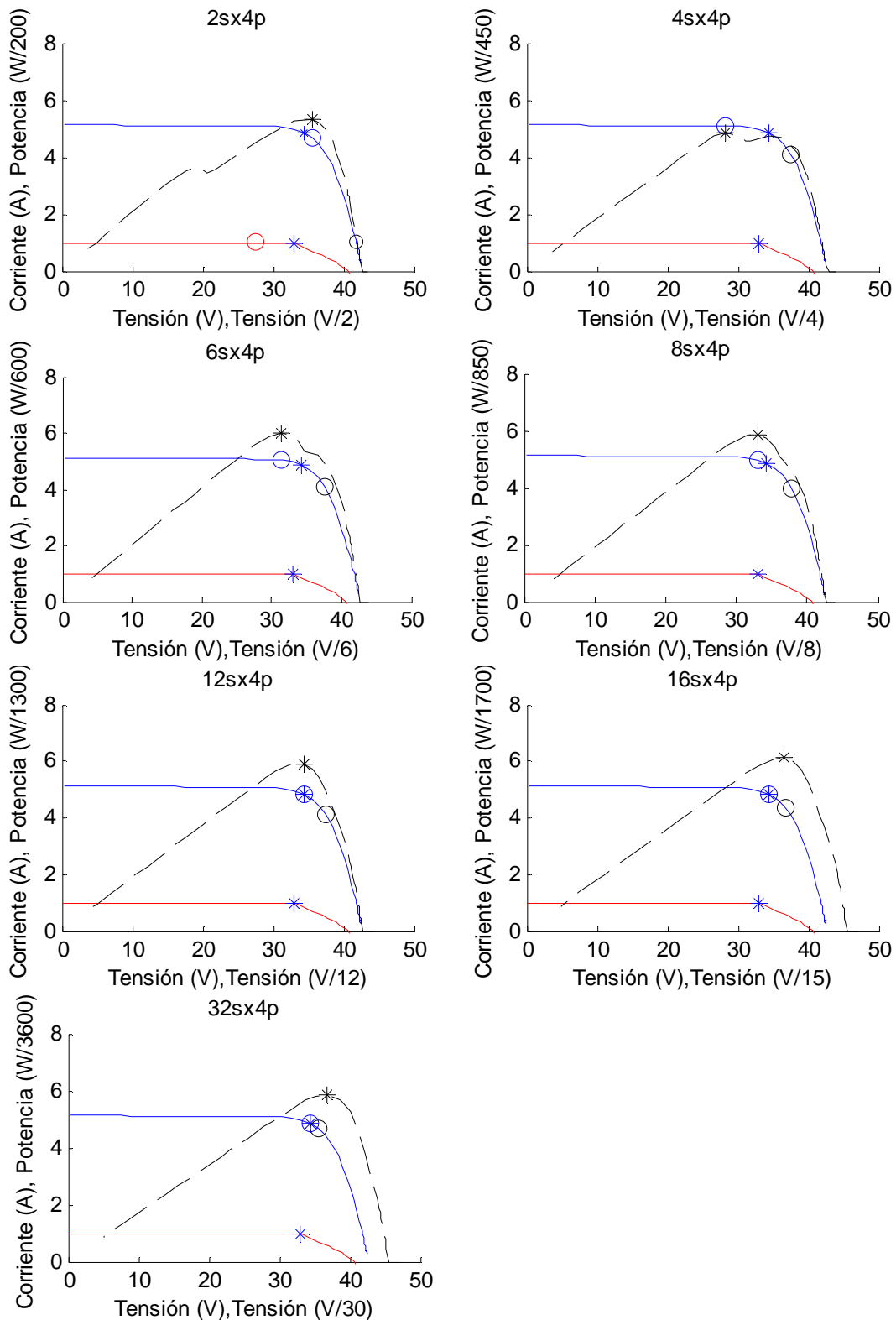


Fig.2.65. Curvas P-V de seguidores del Grupo "E", con un módulo de baja I_{sc} y curvas I-V de sus módulos.

En el apartado 2.4.2. se vio como los generadores 9sx4p con un módulo de baja Isc. tendían a variar lo menos posible la tensión de las series, mediante la modificación de la corriente de la serie defectuosa. Si el defecto es muy elevado puede ocurrir que la corriente de la serie defectuosa haga trabajar al módulo defectuoso en su zona inversa de corriente. Para evitarlo en este caso los diodos de paso cortocircuitan dicho módulo, i.e. el módulo defectuoso no genera potencia.

Ahora se ve como este comportamiento es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº de módulos en serie.

En las tablas 2.62., 2.63., 2.64., 2.65. y 2.66. se muestran el Vp.u. pérdidas que estas variaciones provocan.

Tabla.2.62. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "A".

Grupo de generadores "A"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	0.25%	1.09%
4 módulos en serie	0.25%	0,67%
6 módulos en serie	0,28%	0,56%
8 módulos en serie	0,25%	0,46%
12 módulos en serie	0,14%	0,28%
16 módulos en serie	0,12%	0,22%
32 módulos en serie	0,07%	0,12%

Tabla.2.63. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "B".

Grupo de generadores "B"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	1.61%	4.19%
4 módulos en serie	2.32%	3.61%
6 módulos en serie	2.74%	3.60%
8 módulos en serie	2.82%	3.47%
12 módulos en serie	2.93%	3.36%
16 módulos en serie	2.26%	2.58%
32 módulos en serie	0.71%	0.87%

Tabla.2.64. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "C".

Grupo de generadores "C"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	4.34%	9.12%
4 módulos en serie	6.46%	8.85%
6 módulos en serie	7.14%	8.73%
8 módulos en serie	5.18%	6.38%
12 módulos en serie	2.97%	3.77%
16 módulos en serie	1.96%	2.55%
32 módulos en serie	0,58%	0.87%

Tabla.2.65. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "D".

Grupo de generadores "D"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	6.85%	14.39%
4 módulos en serie	9.81%	13.57%
6 módulos en serie	7.28%	9.79%
8 módulos en serie	4.49%	6.38%
12 módulos en serie	2.51%	3.77%
16 módulos en serie	1.61%	2.55%
32 módulos en serie	0,40%	0,87%

Tabla.2.66. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "E".

Grupo de generadores "E"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 módulos en serie	9.86%	19.91%
4 módulos en serie	13.36%	18.38%
6 módulos en serie	6.44%	9.79%
8 módulos en serie	3.87%	6.38%
12 módulos en serie	2.09%	3.77%
16 módulos en serie	1.30%	2.55%
32 módulos en serie	0,25%	0,87%

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.07 y 13.36% Y las pérdidas totales entre 0.12 y 19.91%.

La Fig. 2.66. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de módulos en serie de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.67. la de las pérdidas totales.

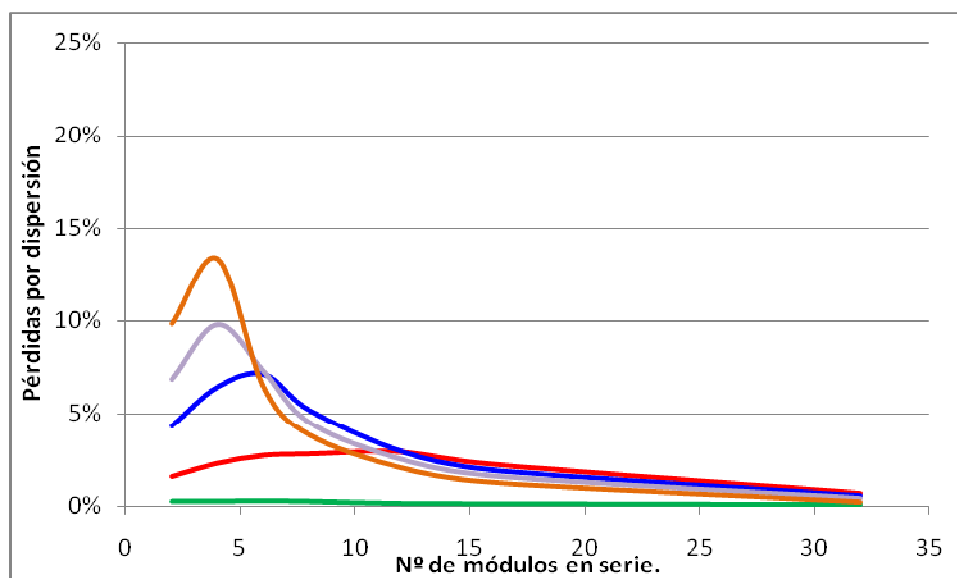


Fig.2.66. Pérdidas por dispersión de cada Grupo de generadores en función de nº de mod. en serie.

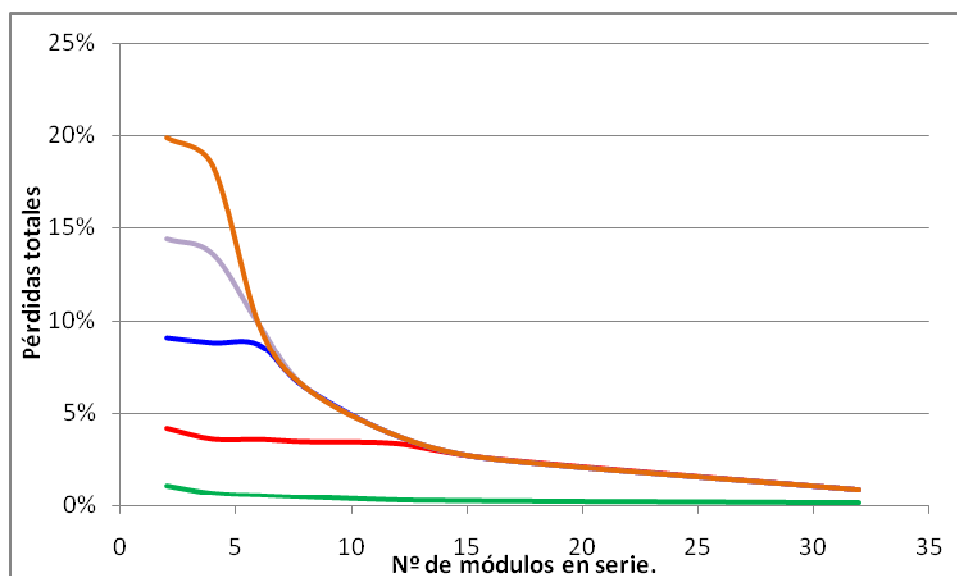


Fig.2.67. Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en función de nº de mod. en serie.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de módulos en serie, tal como se planteó en el apartado 2.5.2.

La diferencia de pérdidas entre los generadores de los diferentes grupos son más significativas en generadores con pocos módulos en serie. Siendo estas mayores cuanto mayor es la magnitud del defecto.

Aumentar el nº de módulos en serie es más efectivo cuanto mayor es la magnitud del defecto, y cuanto menor es el rango de números de módulos en serie con el que se trabaja.

La Fig.2.68. muestra la evolución de las pérdidas por dispersión de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de módulos en serie.

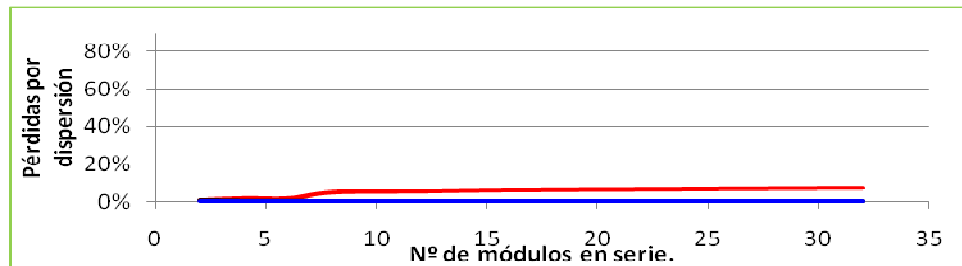
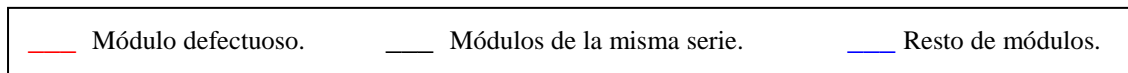


Fig.2.68.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de mód. en serie.

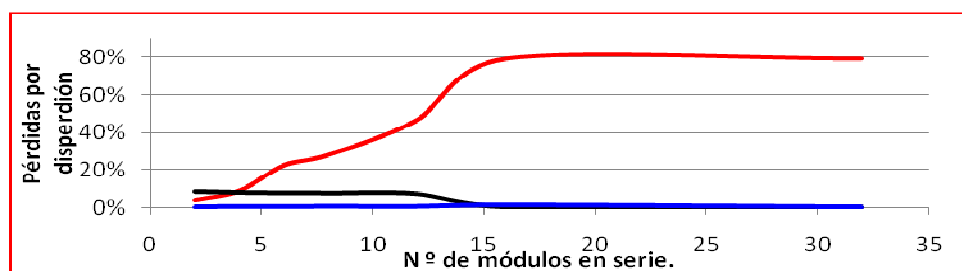


Fig.2.68.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de mód. en serie.

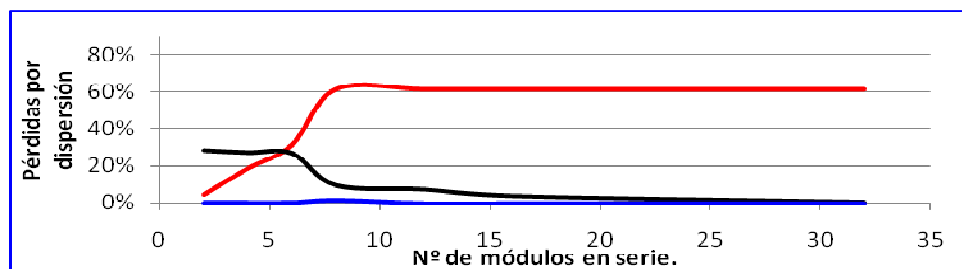


Fig.2.68.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de mód. en serie.

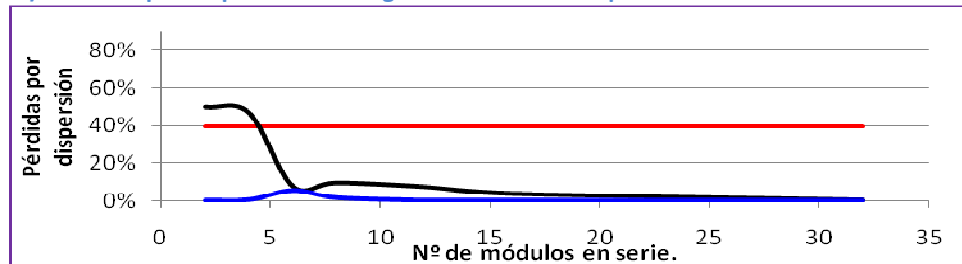


Fig.2.68.d) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "D" en función de nº de mód. en serie.

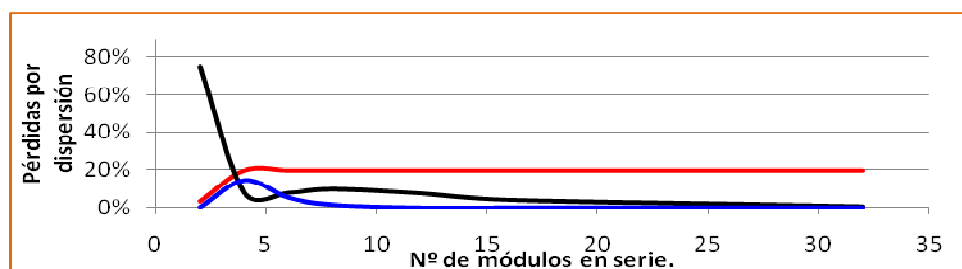


Fig.2.68.e) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "E" en función de nº de mód. en serie.

Queda de manifiesto el predominio de los módulos que no pertenecen a la misma serie que el módulo defectuoso para cualquier n° de módulos en serie. Las pérdidas en este tipo de módulos son las menores en prácticamente todos los casos.

Además se aprecia como las pérdidas en los módulos de la serie defectuosa adquieren importancia conforme aumenta el n° de módulos en serie, y por lo tanto sus pérdidas disminuyen, mientras que las del módulo defectuoso aumentan hasta un límite (hasta que se prescinde completamente de la potencia que él genera).

Luego las pérdidas totales en este tipo de generadores provienen principalmente de las pérdidas totales en el módulo defectuoso. Debido a las características de la curva I-V de módulos con este tipo de defecto, sus pérdidas por dispersión no son muy elevadas, pero si sus pérdidas totales.

- Influencia del n° de series:

En cada una de las Fig. 2.69., 2.70. 2.71., 2.72. y 2.73. se muestran las curvas P-V de siete seguidores (Grupo de generadores “A”, Grupo de generadores “B”, Grupo de generadores “C”, Grupo de generadores “D” y Grupo “E”). Esta vez, cada uno de ellos consta de 4 módulos en serie y un n° series diferente. Todos ellos tienen todos sus módulos perfectos excepto uno, con baja corriente de cortocircuito (Isc.) .

Al igual que para el análisis de la influencia del n° de módulos en serie, en cada Fig., o Grupo de generadores, el módulo defectuoso tiene un valor de Isc. diferente, siendo los de la 2.69. los de mayor valor, y los de la 2.73. los de menor.

Además en cada gráfica, se representan las curvas I-V de los módulos que forman los seguidores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia. En ellas se aprecia la variación del punto de trabajo de cada tipo de módulo en función del n° de series del seguidor.

A cada Grupo de generadores se le ha asignado un color:

- Grupo “A”: verde.
- Grupo “B”: rojo.
- Grupo “C”: azul.
- Grupo “D”: morado.
- Grupo “E”: naranja.

GENERADORES DEL GRUPO "A"

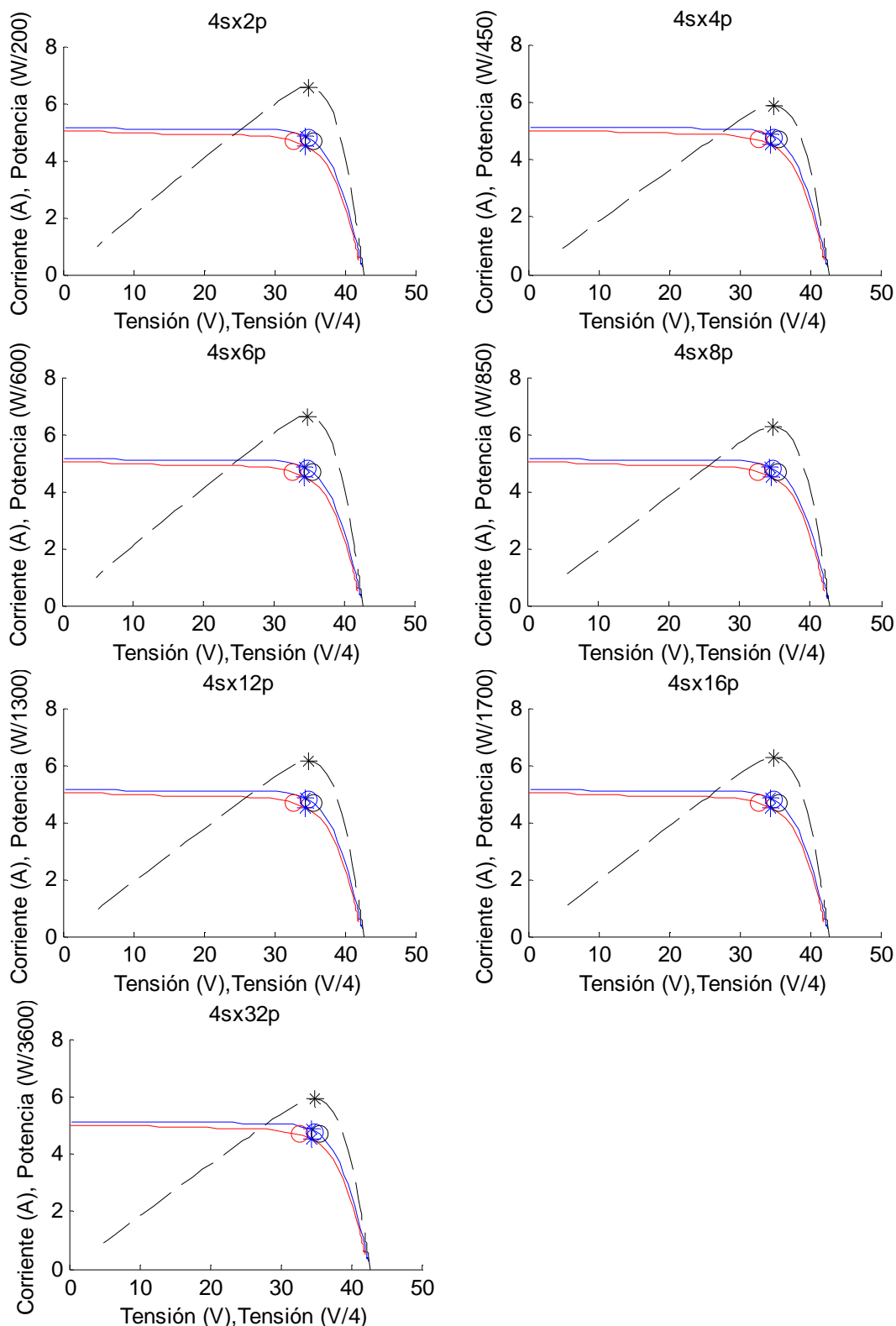


Fig.2.69. Curvas P-V de seguidores del Grupo "A", con un módulo de baja Isc. y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "B"

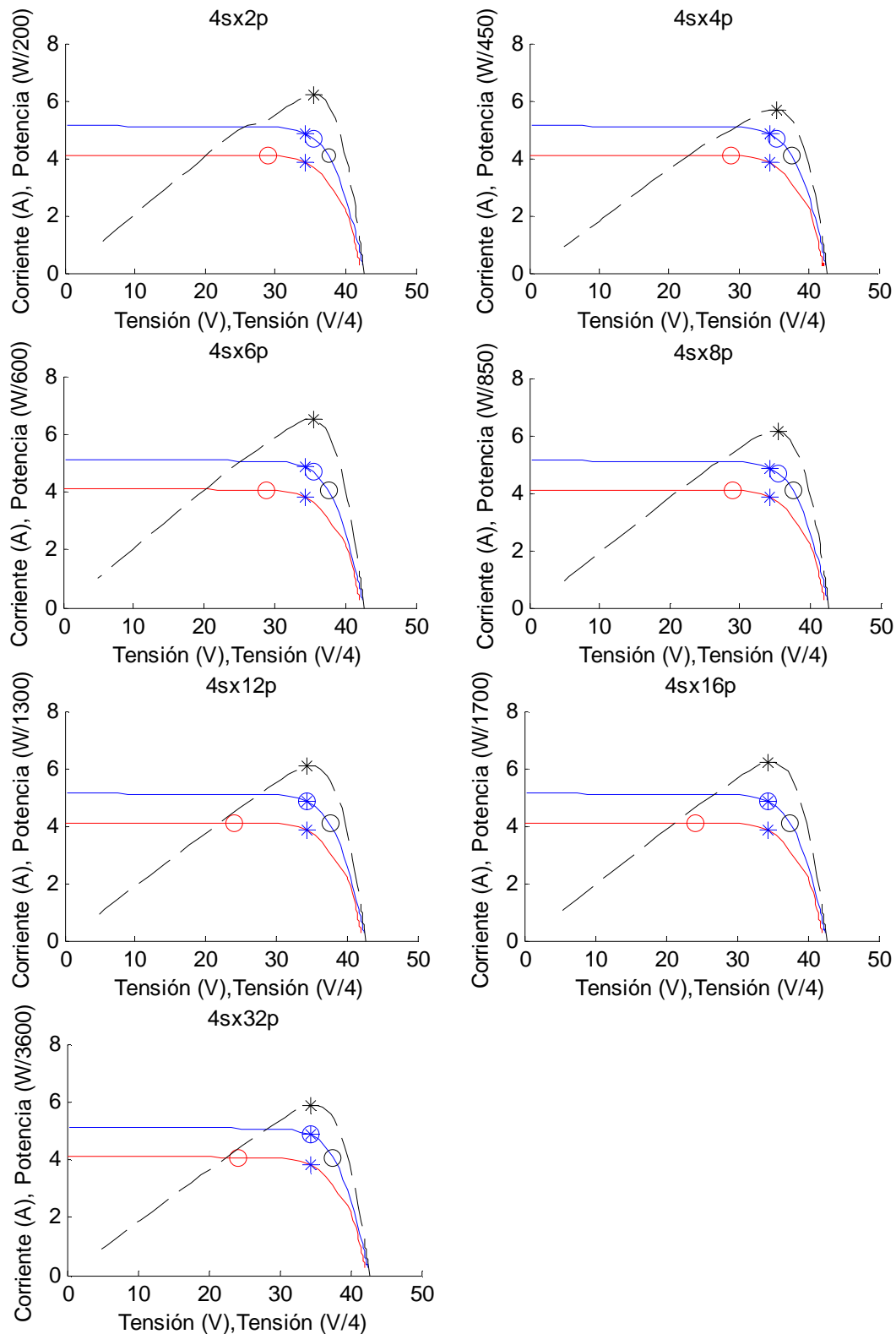


Fig.2.70. Curvas P-V de seguidores del Grupo "B", con un módulo de baja I_{sc} y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "C"

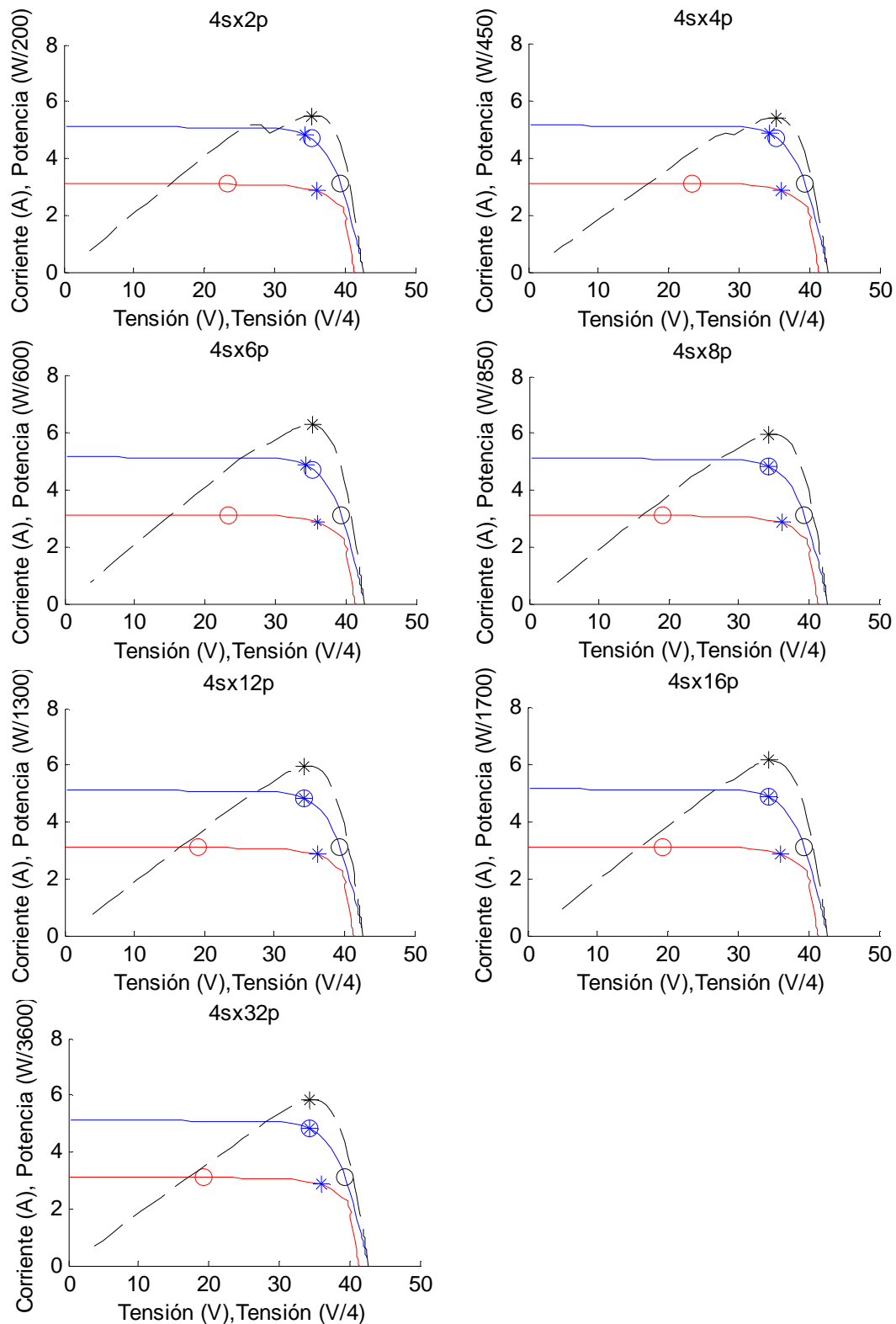


Fig.2.71. Curvas P-V de seguidores del Grupo "C", con un módulo de baja I_{sc} y curvas I-V de sus módulos.

GENERADORES DEL GRUPO "D"

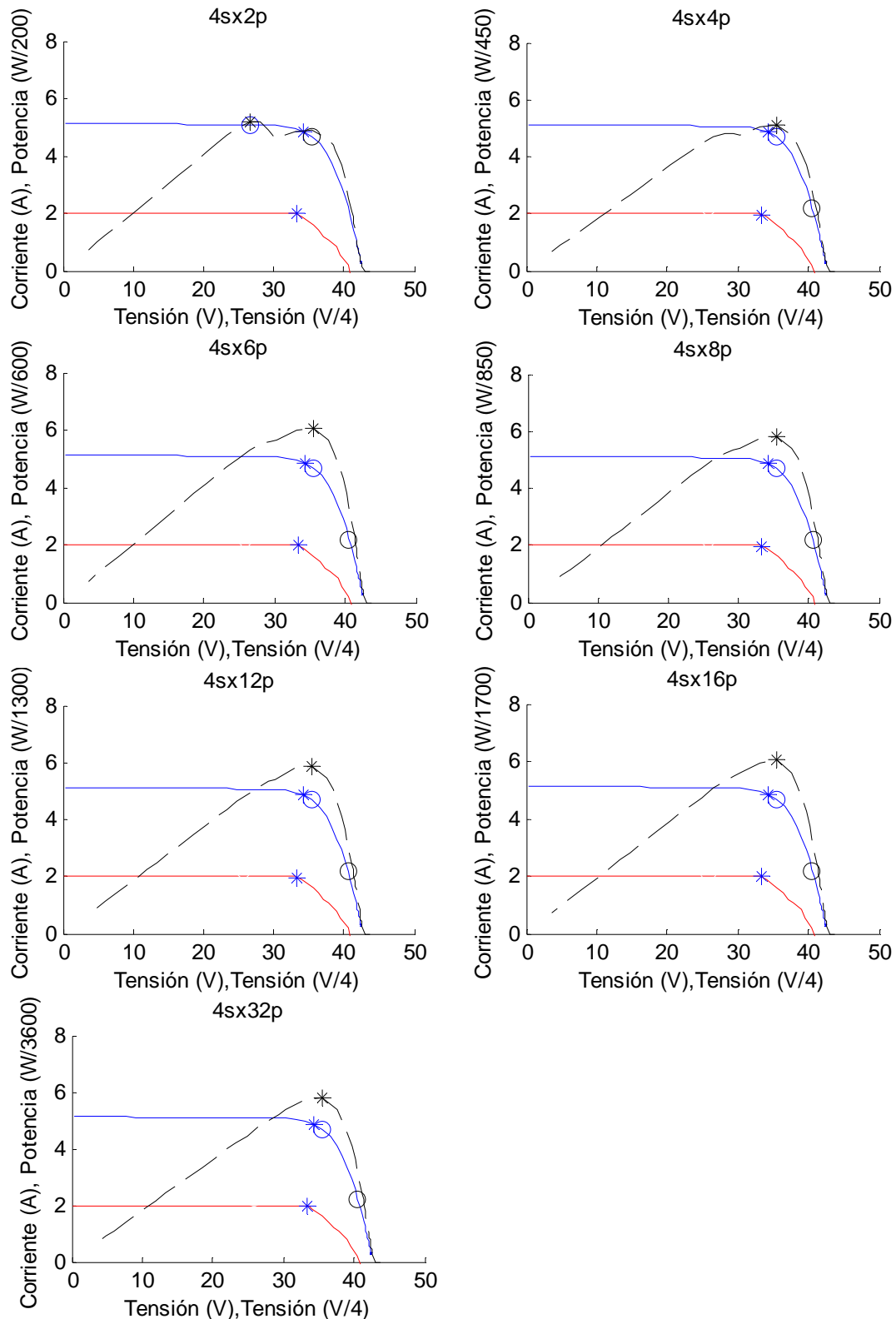


Fig.2.72. Curvas P-V de seguidores del Grupo "D", con un módulo de baja Isc. y curvas I-V de sus módulos

GENERADORES DEL GRUPO "E"

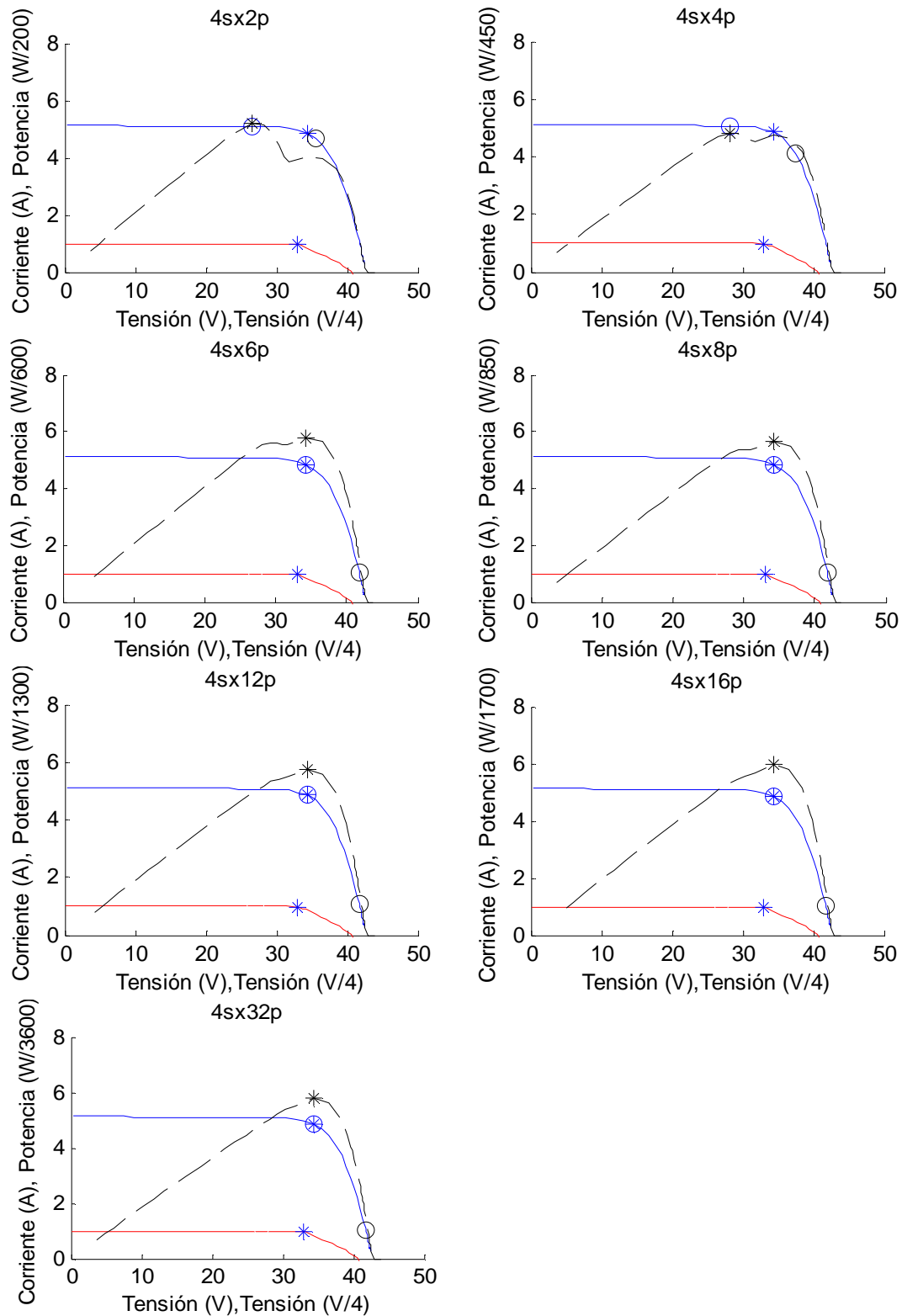


Fig.2.73. Curvas P-V de seguidores del Grupo "E", con un módulo de baja I_{sc} y curvas I-V de sus módulos.

En el análisis de la influencia del nº de módulos en serie en un seguidor con un módulo de baja Isc. se comprobó que el comportamiento de los módulos tendía a variar lo menos posible la tensión de las series, mediante la modificación de la corriente de la serie defectuosa.

Ahora se ve como este comportamiento es común a todos los generadores con este tipo de defecto, sea cual sea su nº de series.

En las tablas 2.67., 2.68., 2.69., 2.70. y 2.71. se muestran las pérdidas que estas variaciones provocan.

Tabla.2.67. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "A".

Grupo de generadores "A"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	0,40%	1.24%
4 series.	0,25%	0,67%
6 series.	0,20%	0,48%
8 series.	0,18%	0,39%
12 series.	0,15%	0,29%
16 series.	0,14%	0,25%
32 series.	0,12%	0,18%

Tabla.2.68. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "B".

Grupo de generadores "B"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	4.31%	6.89%
4 series.	2.32%	3.61%
6 series.	1.66%	2.52%
8 series.	1.33%	1.97%
12 series.	0.89%	1.32%
16 series.	0.67%	0.99%
32 series.	0.33%	0.50%

Tabla.2.69. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "C".

Grupo de generadores "C"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	12.60%	17.38%
4 series.	6.46%	8.85%
6 series.	4.41%	6.00%
8 series.	3.33%	4.53%
12 series.	2.22%	3.02%
16 series.	1.67%	2.26%
32 series.	0.83%	1.13%

Tabla.2.70. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "D".

Grupo de generadores "D"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	14.53%	22.07%
4 series.	9.81%	13.57%
6 series.	6.66%	9.17%
8 series.	5.08%	6.96%
12 series.	3.51%	4.76%
16 series.	2.72%	3.66%
32 series.	1.54%	2.01%

Tabla.2.71. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores del Grupo "E".

Grupo de generadores "E"	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
2 series.	12.02%	22.07%
4 series.	13.36%	18.38%
6 series.	9.69%	13.04%
8 series.	7.27%	9.78%
12 series.	4.85%	6.52%
16 series.	3.63%	4.89%
32 series.	1.82%	2.45%

Los valores de pérdidas por dispersión en generadores de este tipo están comprendidos entre 0.12 y 14.53% Y las pérdidas totales entre 0.18 y 22.07%. Rangos de valores un poco mayores que en los generadores de 4 series y diferente nº de módulos en serie.

La Fig. 2.74. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión conforme aumenta el nº de series de cada Grupo de generadores. Y la Fig.2.75. la de las pérdidas totales.

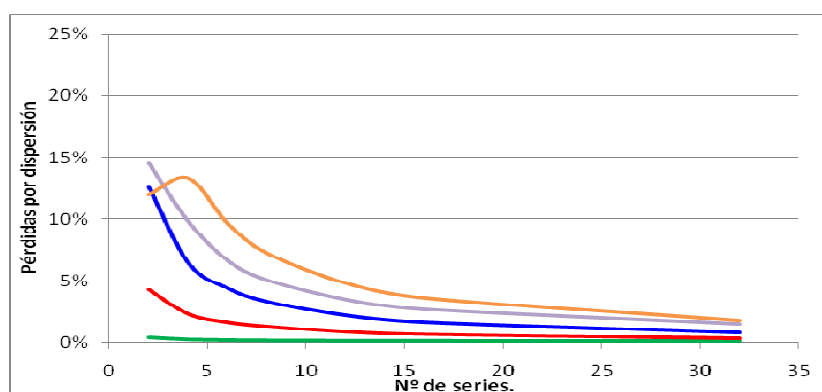


Fig.2.74. Pérdidas por dispersión de cada Grupo de generadores en función de nº de series.

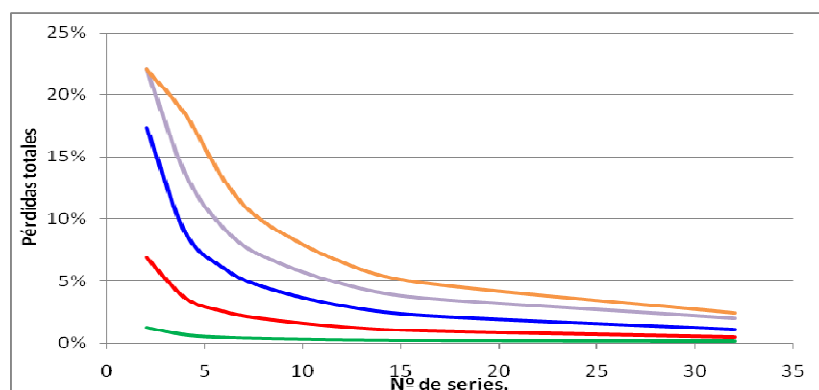


Fig.2.75. Pérdidas totales de cada Grupo de generadores en función de nº de series.

Se aprecia claramente la disminución de las pérdidas en un seguidor conforme aumenta el nº de series, tal como se planteó en el apartado 2.5.3.

La Fig.2.76. muestra la evolución de las pérdidas por dispersión de cada tipo de módulo en cada grupo de generadores en función del nº de series.

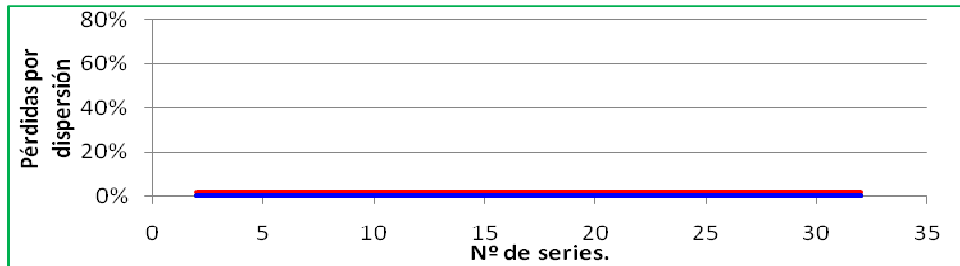
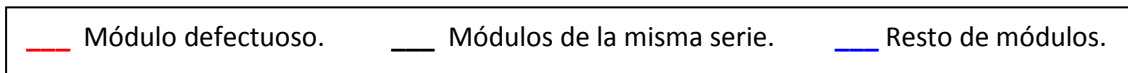


Fig.2.76.a) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "A" en función de nº de series.

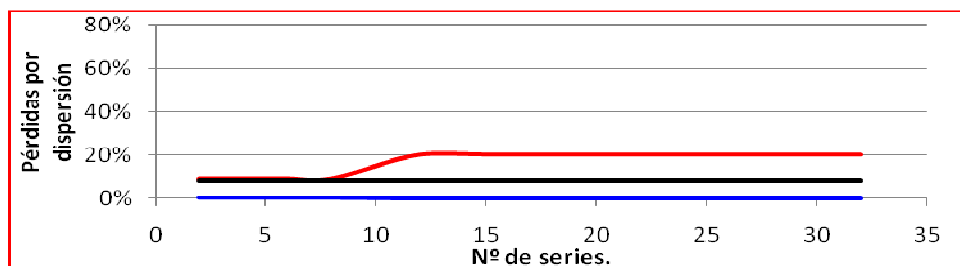


Fig.2.76.b) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "B" en función de nº de series.

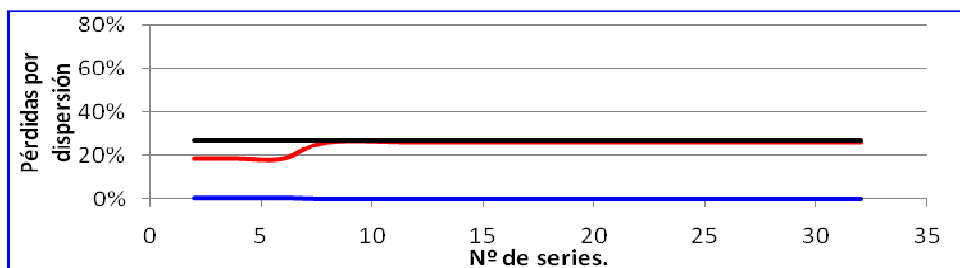


Fig.2.76.c) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "C" en función de nº de series.

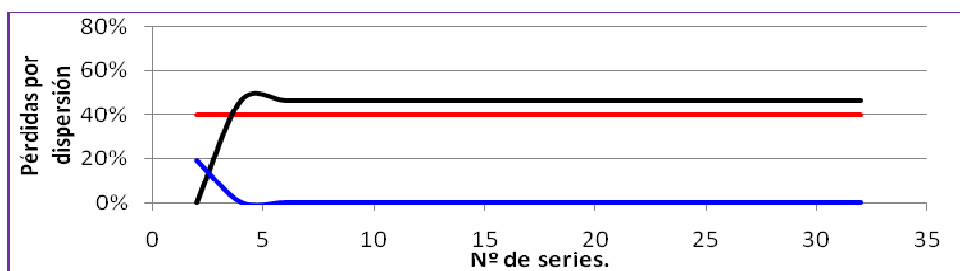


Fig.2.76.d) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "D" en función de nº de series.

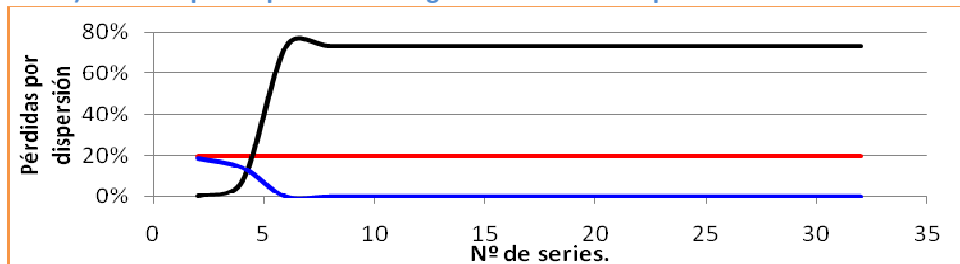


Fig.2.76.e) Pérdidas por dispersión de los generadores del Grupo "E" en función de nº de series.

Al igual que en el análisis de la influencia del nº de módulos en serie en este tipo de generadores, queda de manifiesto que tienden a mantener la tensión de las series, es decir, a no provocar grandes pérdidas en los módulos que no comparten serie con el defectuoso.

Al aumentar el nº de series, los módulos que de la serie defectuosa pierden importancia y como se puede apreciar sus pérdidas aumentan hasta un límite.

Las pérdidas totales en este tipo de generadores es debida principalmente a las pérdidas de los módulos que comparten serie con el defectuoso y a las del módulo defectuoso.

Combinación de la influencia del nº de series y del nº de módulos en serie:

Dado que la influencia del aumento del nº de módulos en serie en un seguidor varía en función del nº de series del mismo y viceversa, a continuación se realizará un análisis de las pérdidas totales en seguidores de este tipo en función del nº de módulos en serie y del nº de series.

Las Fig.2.77. y 2.78. permiten conocer las pérdidas totales de un seguidor con un módulo de baja Isc. en función de su configuración.

La Fig.2.77. muestra dichas pérdidas en el caso de generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno idéntico al módulo defectuoso de los generadores del Grupo "A", y la Fig.2.78. al de los generadores del Grupo "C". Cada Una de ellas tienen con una escala diferente.

Se ponen de manifiesto los resultados obtenidos en los anteriores análisis. Las pérdidas totales de un seguidor disminuyen conforme aumenta el nº de módulos en serie y el nº de series, es decir, los generadores formados por menos módulos son los que tienen más pérdidas en porcentaje.

Además, se observa de nuevo que cuanto menor es la Isc. de los módulos defectuoso de los generadores, mayores son sus pérdidas para una misma configuración.

Al alcanzar un número muy elevado de módulos en serie y series, la disminución de las pérdidas es prácticamente inapreciable.

En el caso de generadores con un solo módulo defectuoso igual al de los generadores del Grupo "A", las menores perdidas que se pueden obtener están en torno al 0.1%, y en los que son iguales a los del Grupo "C", al 2%.

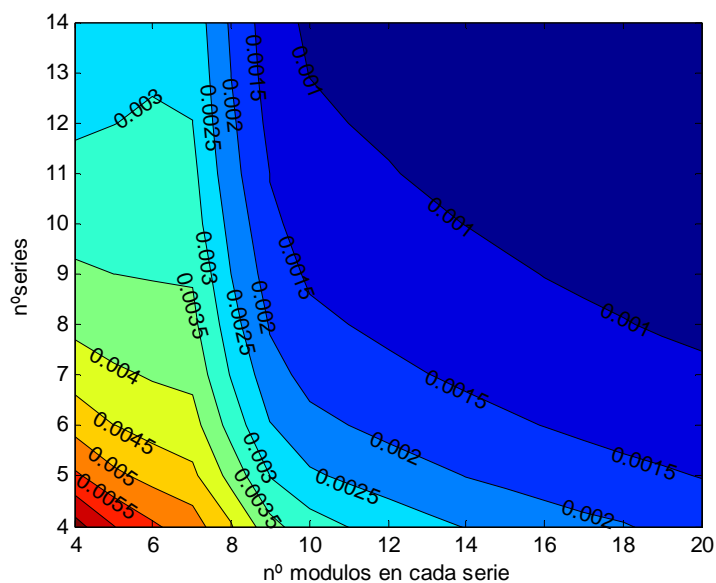


Fig.2.77. Pérdidas totales en Vp.u. en función de la configuración en seguidores con el módulo defectuoso idéntico a los del Grupo "A".

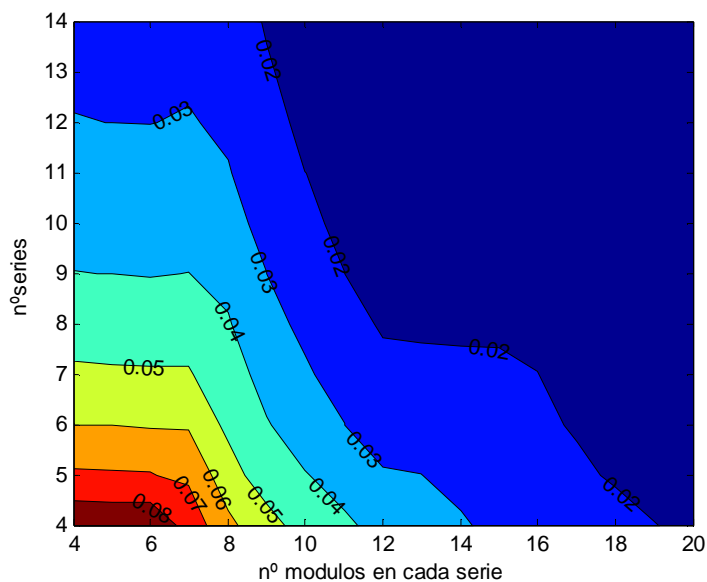


Fig.2.78. Pérdidas totales en Vp.u. en función de la configuración en seguidores con el módulo defectuoso idéntico a los del Grupo "C".

2.5.7. COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES DEFECTOS.

La curva I-V propia de cada tipo de módulo defectuoso provoca unas pérdidas y un comportamiento específico en los generadores que contienen dichos módulos.

Los módulos con una R_s elevada se caracterizan por no ocasionar importantes modificaciones en los puntos de trabajo de los módulos del generador del que forma parte, incluido él mismo, y por tanto por no ocasionar pérdidas significativas, a no ser que se trate de defectos especialmente graves.

Los módulos con baja corriente en sus “strings” se caracterizan por tener que modificar mucho su punto de trabajo para variar lo menos posible el de los módulos con los que comparte generador. Como consecuencia las pérdidas totales de dicho generador provienen principalmente del módulo defectuoso, y en mayor o menor medida, en función del nº de módulos en serie y del nº de series, de los módulos que comparten serie con él.

Los módulos con baja Voc. no ocasionan grandes modificaciones en los puntos de trabajo de los módulos del generador del que forma parte, ni siquiera en él mismo. Las pérdidas en este tipo de generadores provienen principalmente de la diferencia entre la potencia CEM de dicho módulo defectuoso y la que tendría sin defecto.

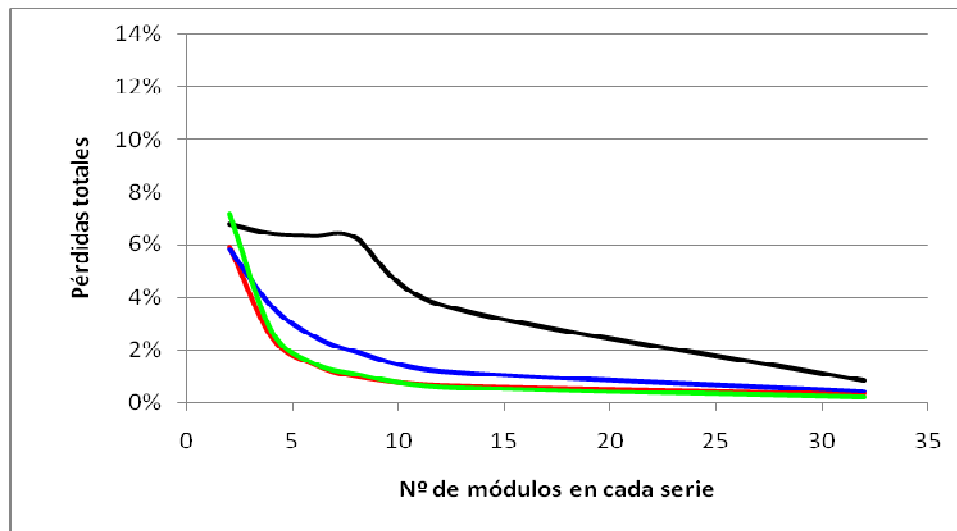
Los módulos con baja Isc. se caracterizan por causar grandes pérdidas en los generadores a los que pertenecen debido a la baja corriente a la que este tipo de módulos trabaja. Se obliga a trabajar a muy baja corriente a los módulos que comparten serie con él para que este genere potencia, o a prescindir de dicha potencia para no disminuir mucho la de los módulos que comparten serie con él.

Cualquier generador con un módulo con un defecto de los estudiados tiende en un principio a mantener la tensión de sus series. Esto es debido a que el porcentaje de módulos que no pertenecen a la serie del módulo defectuoso (en las configuraciones más usuales) acostumbra a ser mayor que la de los módulos de dicha serie, y por consiguiente en la mayoría de las situaciones es preferible modificar la corriente de la serie defectuosa.

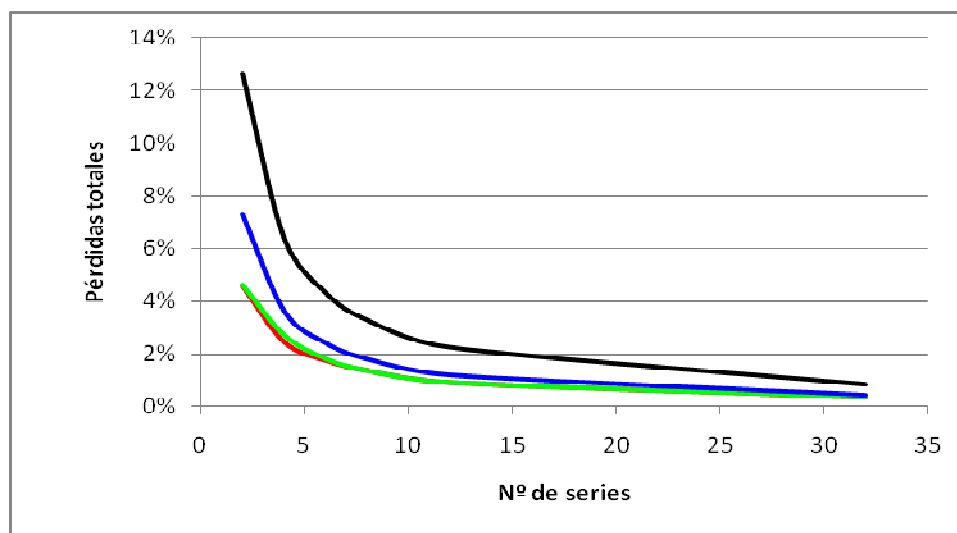
En resumen son los módulos con un defecto en corriente los que mayores pérdidas ocasionan. En concreto dichas pérdidas provienen del propio módulo defectuoso.

La Fig.2.79. permite comparar las pérdidas totales de generadores que contienen módulos defectuosos de diferente tipo (cada generador contiene un solo módulo defectuoso) en función del nº de módulos en serie (a) y de series (b). Dichos módulos defectuosos se caracterizan por tener entre 28 y 30% de caída de potencia CEM.

- Módulo defectuoso con baja I_{sc} .
- Módulo defectuoso con alta R_s .
- Módulo defectuoso con baja V_{oc} .
- Módulo defectuoso con algún "string" bajo en



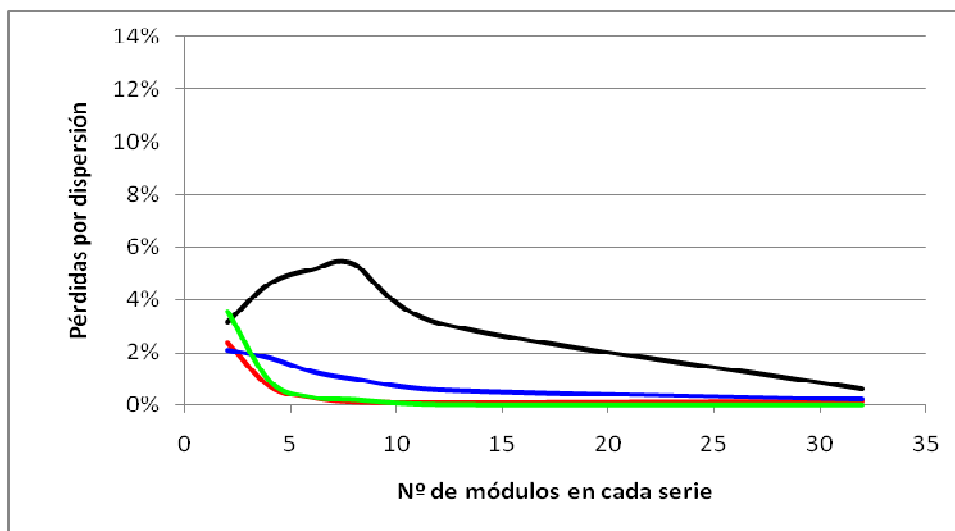
a)



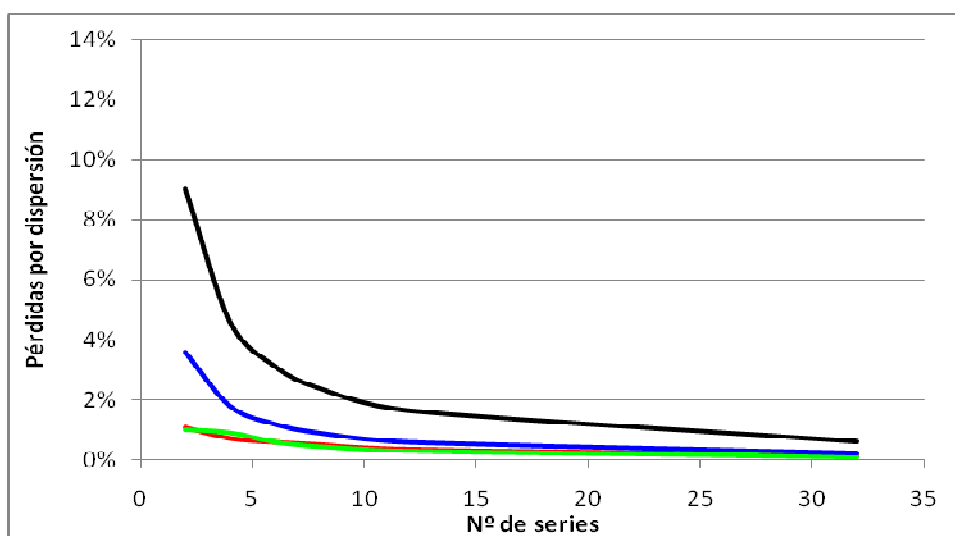
b)

Fig.2.79. Gráfica de pérdidas totales en función de la configuración en seguidores con diferente tipo de módulo defectuoso.

De igual modo, la Fig.2.80. permite comparar las pérdidas por dispersión ocasionadas en este tipo de generadores en función de su nº de módulos en serie y series. Ambas figuras comparten leyenda.



a)



b)

Fig.2.80. Gráfica de pérdidas por dispersión en función de la configuración en seguidores con diferente tipo de módulo defectuoso.

Para cualquier configuración del seguidor, las pérdidas son mayores si el módulo defectuoso tienen baja su I_{sc} . Seguidamente, y con una diferencia considerable, el defecto que mayores pérdidas ocasiona es una baja corriente en los "strings" y por último, y en orden, una baja V_{oc} y una alta R_s .

2.6. ANÁLISIS DE CURVAS P-V CON MÁS DE UN MÁXIMO.

Si se observan con atención las curvas P-V de los generadores simulados a lo largo del presente proyecto, se puede apreciar la existencia de más de un máximo en alguna de ellas. La Fig.2.82. muestra algunos ejemplos.

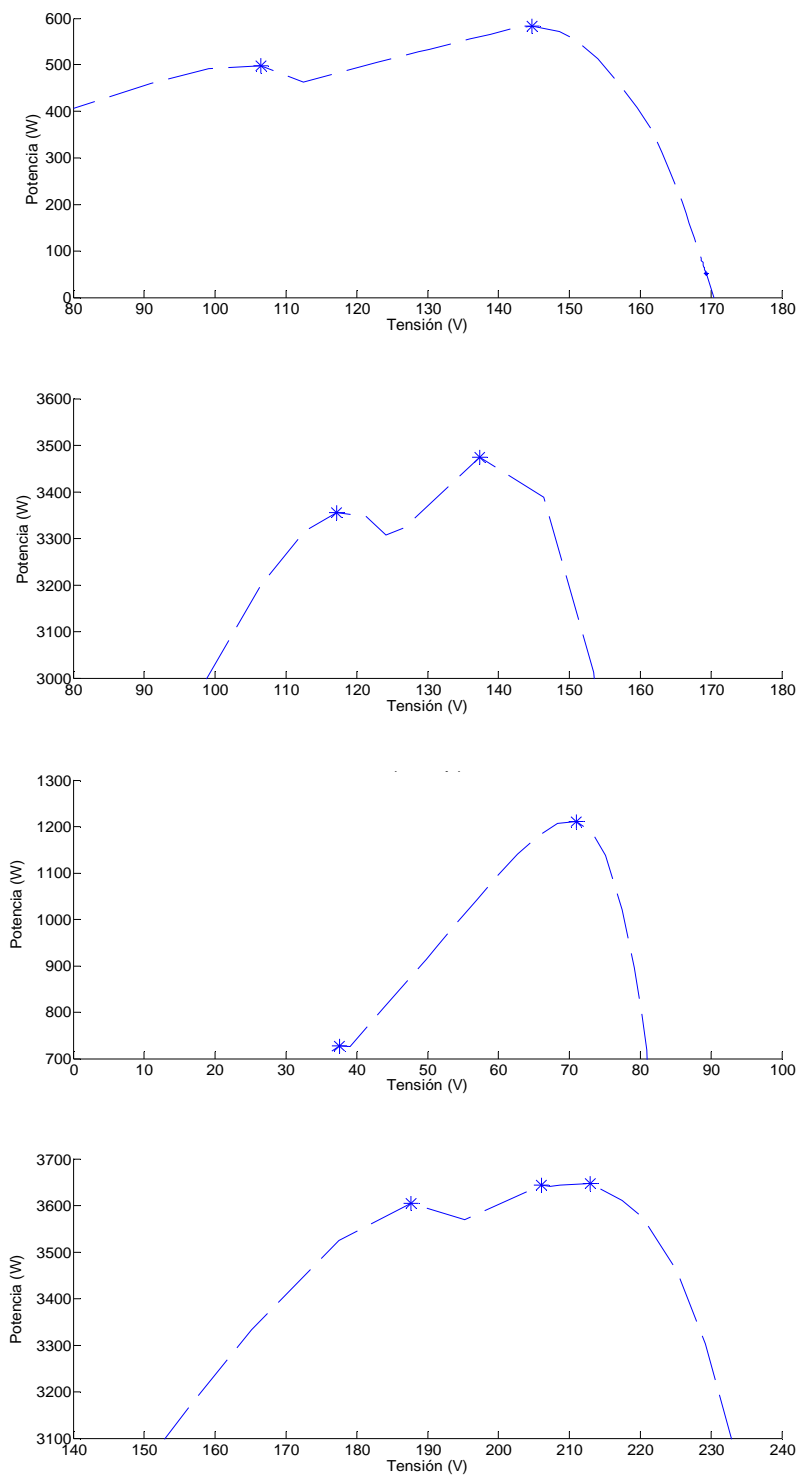


Fig.2.82. Gráfica curva P-V de generadores con más de un máximo.

La aparición de generadores con este tipo de curvas en las huertas puede suponer un aumento significativo de las pérdidas, ya que el algoritmo de control empleado en los seguidores para estos trabajen en su PMP (MPPT, "Maximum Power Point Tracking"), no distingue entre máximos relativos y máximo absolutos.

Por ello es importante realizar un análisis con el fin de determinar las circunstancias que ocasionan la aparición de dichos máximos relativos, que contribuya tanto a la prevención y como a la rápida detección de los mismos.

De un total de 216 generadores simulados hasta el momento en este proyecto, tan solo 20 presentan más de un máximo en su curva P-V. De los cuales únicamente uno cuenta con más de 2 máximos. Lo cual pone de manifiesto lo poco frecuente que es dicho fenómeno.

La tabla 2.72. muestra las características de los generadores con más de un máximo simulados hasta el momento, así como el incremento de pérdidas totales que se ocasiona en los generadores mencionados, si trabajan en su máximo punto de potencia relativo y no absoluto. Dicho incremento viene dado en porcentaje de la potencia nominal del generador.

Tabla.2.72. Características de los generadores con más de un máximo en su curva P-V.

GENERADORES				
TIPO DE DEFECTO	MAGNITUD DE DEFECTO (Caía de Potencia CEM)	Nº DE MÓDULOS EN CADA SERIE	Nº DE SERIES	INCREMENTO DE PÉRDIDAS TOTALES
BAJA Isc.	80.37%	2	4	25.49%
		4	4	1.18%
		4	2	17.06%
		4	6	2.96%
		4	8	4.36%
	60.29%	2	4	31.01%
		4	4	4.81%
		6	4	2.92%
		4	1	28.19%
		4	2	4.73%
	38.23%	2	4	36.27%
		4	4	9.54%
		6	4	1.05%
		4	1	6.48%
		4	2	4.69%
	20.63%	4	1	12.79%
BAJA Voc.	50.25%	1	4	15,43%
	44.12%	2	4	8,79%
		1	4	8,61%

La mayoría de los generadores con más de un máximo en su curva P-V contienen un módulo con una muy baja Isc., y en algunos pocos casos con muy baja Voc. En general todos ellos contienen un nº reducido de módulos en las series y series.

La menor magnitud de defecto de tipo baja Isc. que ha ocasionado esta característica en un generador ha sido 20.63% de caída de la potencia CEM del módulo, y de defecto tipo baja Voc. 44.12%.

El trabajar en un punto máximo de potencia relativo puede suponer un incremento de las pérdidas totales de un 36% de la potencia nominal del generador, un valor muy elevado.

3. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN EN UN GENERADOR CREADO MEDIANTE MUESTRAS ALEATORIAS.

3.1. INTRODUCCIÓN.

En el apartado 2. del presente proyecto se han analizado la pérdidas de los módulos que forman un generador y del propio generador para el caso de generadores con todos sus módulos iguales menos uno, considerado defectuoso.

Gracias a los conocimientos obtenidos en dicho apartado se analizará un caso más real con el fin de obtener métodos eficaces para mejorar el rendimiento de los generadores F.V.

Se abordará el análisis para el caso de un generador con todos sus módulos diferentes entre sí, pero sin ninguno claramente deteriorado. Se analizará la influencia de la configuración en sus pérdidas por dispersión y totales.

Cada módulo del generador tiene una curva I-V diferente, y por lo tanto, al conectarlos en serie y en paralelo se establecen diferentes relaciones en función de la forma de dichas curvas I-V. Al ser todos sus módulos distintos entre sí, no es posible diferenciar los tres grupos de módulos que aparecían en el apartado 2. del presente proyecto (módulo defectuoso, módulos de la misma serie que el defectuoso, y resto de módulos).

Para la simulación de estos generadores se han utilizado los valores aleatorios de parámetros característicos de la curva I-V de módulos BP7170 obtenidos en el PFC [MUÑ 09]. En él se realizaron diversos estudios estadísticos sobre el valor de dichos parámetros. Gracias a ello, se obtuvo 36 módulos BP7170 de valores esperados.

Con todos ellos, parte de ellos o utilizando alguno más de una vez, se han simulado, mediante Matlab, generadores de diferentes configuraciones.

La Fig.3.1. muestra las curvas I-V de los 36 módulos obtenidos en el PFC [MUÑ 09].

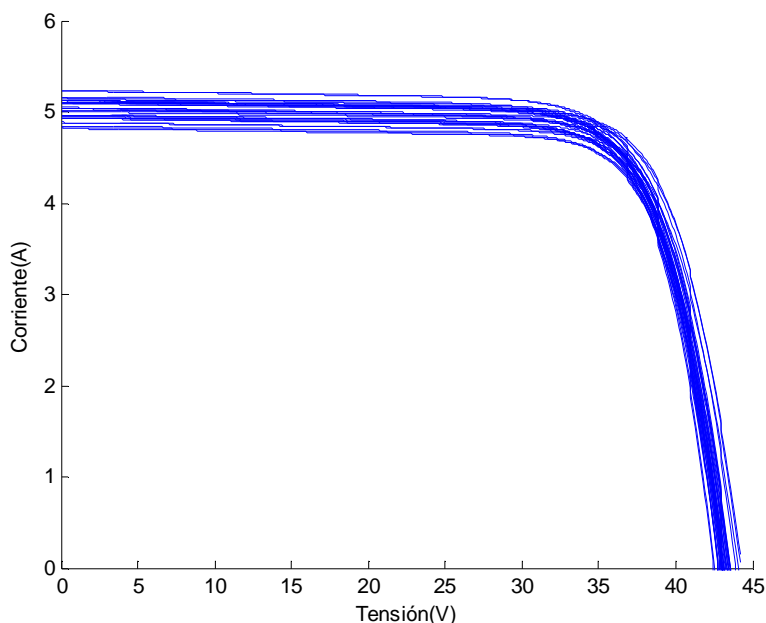


Fig.3.1. Curvas I-V de los módulos utilizados.

3.2. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL N° DE MÓDULOS EN SERIE.

Al aumentar el n° de módulos en serie se modifican los valores de corriente y tensión del generador y de todas sus series. Dichos cambios resultan favorables en algunos módulos y desfavorables en otros, dependiendo de la forma de las curvas I-V de cada uno de los módulos del generador y del lugar que ocupen en él.

En generadores reales es prácticamente imposible conocer, en términos generales, cuántos módulos, y en qué cantidad, se mejoran o empeoran al aumentar el n° de módulos en serie, ya que sus curvas son muy diversas.

Si se desea mejorar el rendimiento de un generador real mediante este método, es indispensable medir previamente las curvas I-V de cada uno de sus módulos.

En resumen, la influencia del n° de módulos en serie en un generador real (sin módulos exactamente iguales) varía considerablemente de un generador a otro, o incluso, de un generador con un orden de módulos a él mismo con otro orden. Es decir, depende de la forma de la curva I-V de los módulos que lo componen y del lugar que estos ocupan.

Con el fin de hacerse una idea de cómo pueden variar las pérdidas en un generador en función de su n° de módulos en serie, se han utilizado los módulos BP7170 obtenidos en el PFC [MUÑ 09] para simular generadores representativos de

los que se pueden encontrar en una huerta solar. Cada generador simulado cuenta con un nº diferente de módulos en serie y cuatro series.

Aunque para el siguiente análisis se trabaje con dichos módulos BP7170 de curvas I-V comunes, no es posible generalizar los resultados obtenidos para cualquier generador formado por este tipo de módulos. Únicamente permite hacerse una idea aproximada del valor de las pérdidas y entender mejor las bases de la generación de energía F.V.

La Fig.3.2. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados en función del nº de módulos en serie. Y en la tabla 3.1. se aprecia con detalle el valor de dichas pérdidas.

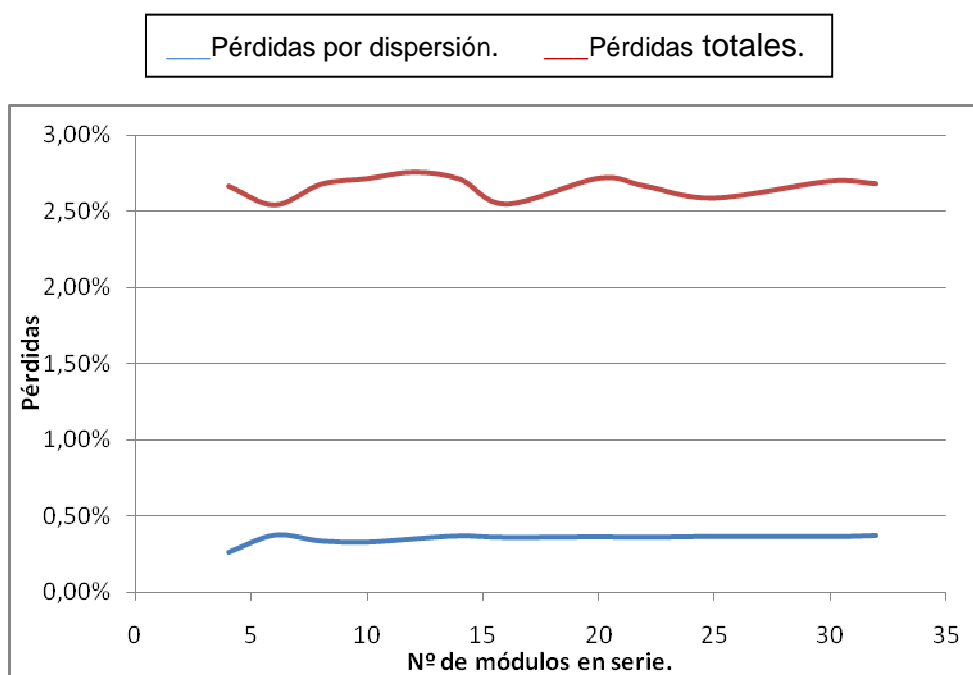


Fig.3.2. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados.

Tabla.3.1. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados

	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
4 módulos en serie.	0,26%	2,67%
6 módulos en serie.	0,38%	2,55%
8 módulos en serie.	0,34%	2,68%
12 módulos en serie.	0,35%	2,75%
16 módulos en serie.	0,36%	2,55%
32 módulos en serie.	0,37%	2,59%

Como ya se determinó en el PFC [MUÑ 09] las pérdidas por dispersión en generadores en ausencia de módulos defectuosos son pequeñas, no superan el 0.5%. En concreto en los generadores del presente análisis no superan el 0.39%.

Aunque se varíe el nº de módulos en serie, las pérdidas por dispersión se mantienen a valores pequeños, y por tanto también las diferencias entre ellas.

Dichas diferencias no superan el 0.12%, y no están directamente relacionadas con la modificación del nº de módulos en serie, sino que como ya se ha explicado anteriormente, dependen de la forma de la curva I-V de los módulos que componen el generador y de su orden.

Ocurre lo mismo con las pérdidas totales del generador, ya que dependen de las pérdidas por dispersión y de la disminución de potencia CEM de cada uno de los módulos que lo forman.

Teniendo en cuenta que este último componente no varía significativamente al modificar el nº de módulos en serie, ya que ninguno de los módulos tienen un defecto notable, es lógico que el comportamiento de las pérdidas totales se asemeje a del las perdidas por dispersión.

Las pérdidas totales no superan el 2.75% en ninguno de los casos analizados, y la diferencia máxima entre estas nunca es mayor a 0.20%. Además, al igual que en las pérdidas por dispersión, dichas diferencias no están directamente relacionadas con la variación del nº de módulos en serie.

Se puede concluir que la variación del nº de módulos en serie en seguidores de este tipo, sin realizar un previo análisis, no es un método eficaz para reducir sus pérdidas por dispersión, ya que no es posible predecir si realmente se va a mejorar el rendimiento, y en caso de conseguirlo, la mejora esperada no es significativa.

3.3. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL Nº DE SERIES.

Al igual que ocurre al aumentar el nº de módulos en serie, cuando se aumenta el nº de series en este tipo de generadores se modifican sus valores de corriente y tensión. Dichos cambios resultan favorables en algunos módulos y desfavorables en otros, dependiendo de la forma de las curvas I-V de cada uno de los módulos del generador y del lugar que estos ocupan.

Tampoco se puede conocer, en términos generales, cuántos módulos, y en qué cantidad, se mejoran o empeoran al aumentar el nº series en generadores de este tipo, ya que sus curvas son muy diversas.

Para mejorar el rendimiento de un generador mediante este método, es necesario medir previamente las curvas I-V de cada uno de sus módulos.

En resumen, ocurre exactamente lo mismo que al aumentar el nº de módulos en serie, la influencia del nº de series en un generador real (sin módulos exactamente iguales) varía considerablemente de un generador a otro, o incluso, de un generador con un orden de módulos a él mismo con otro orden. Es decir, depende de la forma de la curva I-V de los módulos que lo forman y del lugar que estos ocupan.

Con el fin de hacerse una idea de cómo pueden variar las pérdidas en un generador en función de su nº de series, se han utilizado de nuevo los módulos BP7170 obtenidos en el PFC [MUÑOZ 09] para simular generadores representativos de los que se pueden encontrar en una huerta solar. Cada generador simulado cuenta con un nº diferente de series y cuatro módulos en serie.

Al igual que ocurría en el análisis anterior, aunque se trabaje con módulos BP7170 con curvas I-V comunes, no es posible generalizar los resultados obtenidos para cualquier generador formado por este tipo de módulos. Únicamente permite hacerse una idea aproximada del valor de las pérdidas y entender mejor las bases de la generación de energía F.V.

La Fig.3.3. muestra la tendencia de las pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados en función del nº de series. Y en la tabla 3.2. se aprecia con detalle el valor de dichas pérdidas.

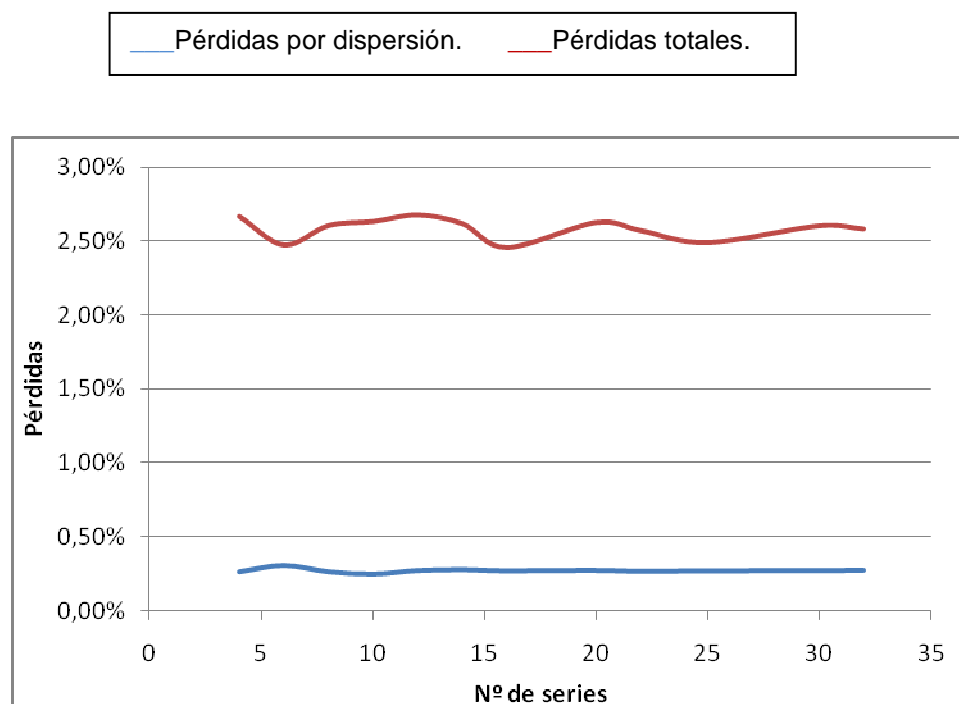


Fig.3.3. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados.

Tabla.3.2. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados

	PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
4 módulos en serie.	0,26%	2.67%
6 módulos en serie.	0,31%	2.48%
8 módulos en serie.	0,26%	2.60%
12 módulos en serie.	0,27%	2.68%
16 módulos en serie.	0,27%	2.46%
32 módulos en serie.	0,27%	2.58%

De nuevo las pérdidas por dispersión en los generadores son pequeñas, no superan el 0.5%. En concreto no superan el 0.31%.

Aunque se varíe el nº de series, las pérdidas por dispersión se mantienen a valores pequeños, y por tanto también las diferencias entre ellas.

Dichas diferencias no superan el 0.05%, y no están directamente relacionadas con la modificación del nº de módulos en serie, sino que como ya se ha explicado anteriormente, dependen de la forma de la curva I-V de los módulos que componen el generador y de su orden.

De nuevo ocurre lo mismo con las pérdidas totales del generador, ya que dependen de las pérdidas por dispersión y de la disminución de potencia CEM de cada uno de los módulos que lo forman.

Teniendo en cuenta que este último componente no varía significativamente al modificar el nº de serie, ya que ninguno de los módulos tienen un defecto notable, es lógico que el comportamiento de las pérdidas totales se asemeje a del las perdidas por dispersión.

Las pérdidas totales no superan el 2.68% en ninguno de los casos analizados, y la diferencia máxima entre estas nunca es mayor a 0.22%. Además, al igual que en las perdidas por dispersión, dichas diferencias no están directamente relacionadas con la variación del nº de series.

Se puede concluir que la variación del nº de series, al igual que la variación del nº de módulos en serie, en seguidores de este tipo, sin realizar un previo análisis, tampoco es un método eficaz para reducir sus pérdidas por dispersión, ya que no es posible predecir si realmente se va a mejorar el rendimiento, y en caso de conseguirlo, la mejora esperada no es significativa.

4. EFECTO DE INTRODUCIR UN CABLEADO INTERMEDIO.

4.1. INTRODUCCIÓN.

A pesar de que las pérdidas por dispersión son mínimas, tal como se concluyó en el PFC [MUÑO9], tanto en el citado proyecto como en el presente, uno de los objetivos principales es estudiar diferentes técnicas para reducirlas al máximo.

Se tiende a pensar que la introducción de estos cableados intermedios puede ser un método efectivo para mejorar el rendimiento de los generadores F.V.

En el PFC [MUÑO 09] se comenzó a estudiar la reorganización de los módulos del seguidor mediante la aplicación de la conexión “Red”. Este resultó ser un método eficaz pero con poca ganancia, aunque el análisis solo se realizó para generadores 9sx4p.

Con el fin de desarrollar más profundamente la idea de la aplicación de conexiones intermedias, en el presente proyecto se analizará más a fondo la conexión “Red”, así como otras nuevas: “paralelo de N módulos” y “paralelo de 2 módulos”.

Se comenzará por realizar un detallado análisis de la influencia de cada conexión en función del tipo de defecto. Lo cual permitirá entender mejor su influencia en generadores reales. Y posteriormente se analizará su influencia en generadores reales.

Se han simulado mediante Matlab generadores de diferentes configuraciones, tipo y magnitud de defecto con las citadas conexiones.

4.2. TIPOS DE CONEXIONES INTERMEDIAS A ANALIZAR.

4.2.1. CONEXIÓN “RED”

La Fig.4.1. muestra el modelado de la configuración “Red” para generadores 9sx4p, con las conexiones añadidas en color rojo.

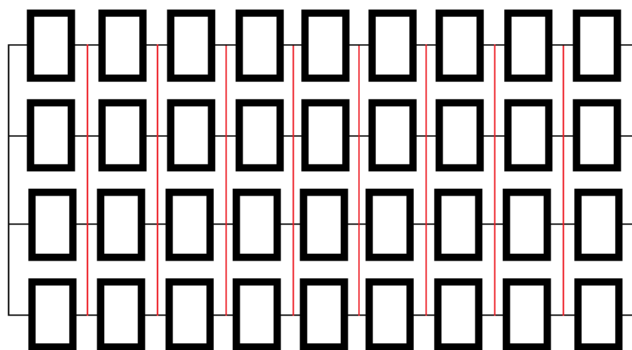


Fig.4.1. Modelado de la configuración "RED" para generadores 9x4p.

Como se explicó en PFC [MUÑO9], la Fig.4.1. es equivalente a la Fig.4.2.

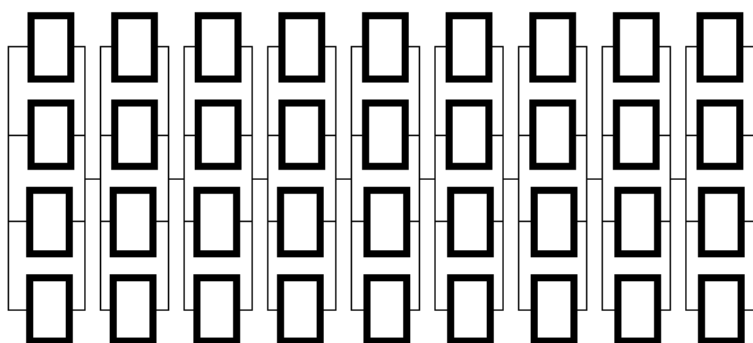


Fig.4.2. Descomposición de la configuración "RED" para generadores 9x4p.

Aplicar esta conexión, implica reorganizar las relaciones entre los módulos del generador. Se forma una serie de grupos de módulos en paralelo.

Previa interpretación de la aplicación de la conexión "Red" en generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno:

El número de grupos de módulos en paralelo que se forma es igual al n° de módulos en serie del seguidor, y el n° de módulos en paralelo en cada grupo es igual al n° de series.

La corriente es la misma para cada grupo de módulos en paralelo. Luego, para mantener a todos los módulos, excepto los del grupo del módulo defectuoso, trabajando a la corriente de su punto de máxima potencia, es necesario modificar la tensión este último grupo.

Como ya se ha mencionado a lo largo de este proyecto, el n° de módulos que modifican su punto de trabajo es un posible indicativo de las pérdidas en el generador, aunque no siempre es así. Para saber que un generador tiene más pérdidas que otro se deben determinar la cantidad de pérdidas de cada uno de los módulos.

Por lo tanto, se pueden dar casos en los que sea preferible modificar levemente la corriente que pasa por los grupos para no provocar grandes variaciones de tensión en el grupo del módulo defectuoso.

Gracias a los conocimientos adquiridos a lo largo de este proyecto, se puede intuir cual será la influencia del aumento del nº de módulos en serie y de series.

Cuantos más módulos en serie tenga un generador, mayor será el número de grupos de módulos en paralelo que se forman al aplicar la conexión "Red". Y por tanto, aumentará la importancia de mantener la corriente que pasa por ellos lo más próxima posible a la corriente del punto de máxima potencia de los módulos perfectos del generador.

En cambio, al aumentar el nº de series, aumenta el nº de módulos en paralelo de cada grupo, lo cual implica un pequeño incremento de la importancia de mantener la tensión del grupo al que pertenece el módulo defectuoso a la tensión del punto de máxima potencia de los módulos perfectos del generador. Aunque continua prevaleciendo la importancia de la corriente que pasa por ellos.

Conseguir unas condiciones de trabajo mejores o peores depende del tipo y magnitud del defecto de su módulo defectuoso y como ya se ha explicado, de su configuración.

Prevía interpretación de la aplicación de la conexión "Red" en generadores con todos sus módulos diferentes entre sí, pero sin ninguno claramente deteriorado:

Al igual que en los generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno, la conexión "Red" supone una modificación en las relaciones entre los módulos que lo forman, que conlleva a mejorar o empeorar las condiciones de trabajo de dichos módulos, dependiendo del caso.

Se reordenan los módulos dentro del generador formándose una serie de grupos de módulos en paralelo. El número de grupos continúa siendo igual al nº de módulos en serie, y el nº de módulos en paralelo en cada grupo al nº de series.

La corriente es la misma para cada grupo de módulos en paralelo. Pero en este caso, la importancia de mantener la corriente que pasa por los grupos y las tensiones de cada grupo dependen de las curvas I-V de los módulos que forman el generador.

4.2.2. CONEXIÓN “PARALELO DE N MÓDULOS”.

La Fig.4.3. muestra el modelado de la configuración “Paralelo de N módulos” para generadores 9sx4p. Las conexiones añadidas se muestran en color rojo.

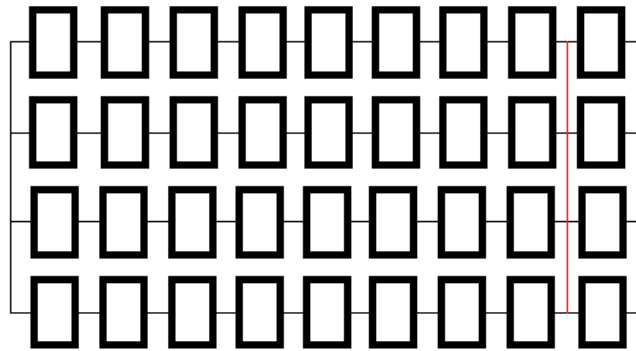


Fig.4.3. Modelado e la configuración “PARALELO DE N MÓDULOS” para generadores 9sx4p.

La Fig. 4.4. equivale a la Fig.4.3. pero con otra arquitectura.

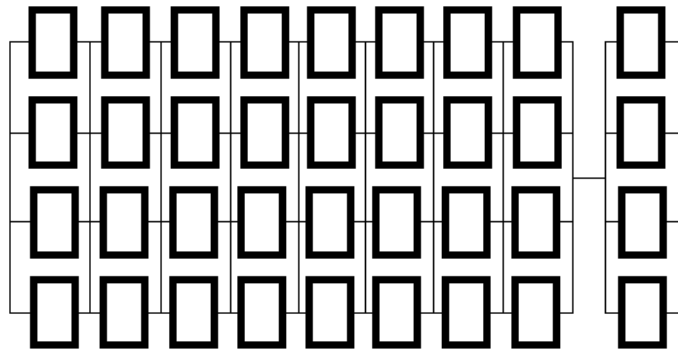


Fig.4.4. Modelado e la configuración “PARALELO DE N MÓDULOS” para generadores 9sx4p.

La conexión “PARALELO DE N MÓDULOS” aplicada en los seguidores con todos sus módulos iguales y “perfectos” y uno defectuoso, une en paralelo dicho módulo defectuoso con un módulo de cada una de las demás series. Al ser todos los módulos, excepto uno, iguales, esta conexión, aplicada a seguidores de este tipo equivale a aplicar la conexión “RED”.

Aplicada en un seguidor creado mediante muestras aleatorias une en paralelo un módulo de cada serie.

Prevía interpretación de la aplicación de la conexión “Paralelo de N módulos” en generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno:

En este tipo de generadores, realizar la conexión “Paralelo de N módulos” supone una modificación en las relaciones entre los módulos que lo forman. Esto, a su vez, conlleva a mejorar o empeorar las condiciones de trabajo de dichos módulos, dependiendo del caso.

Al aplicar esta conexión, se reordenan los módulos dentro del generador. Se forma una serie de dos grupos de módulos. Uno de ellos (Grupo 1) está formado por tantos módulos en paralelo como series tiene el generador, siendo uno de ellos en módulo defectuoso. Y el otro (Grupo 2) contiene el resto de módulos (todos perfectos) con una configuración $(n^{\circ} \text{ de módulos} - 1) \times n^{\circ} \text{ series}$.

La corriente es la misma para cada grupo de módulos. Luego, para mantener a los módulos del grupo 2, trabajando a la corriente de su punto de máxima potencia, es necesario modificar la tensión del grupo 1.

Como ya se ha mencionado a lo largo de este proyecto, el n° de módulos que modifican su punto de trabajo es un posible indicativo de las pérdidas en el generador, aunque no siempre es así. Para saber que un generador tiene más pérdidas que otro se deben determinar la cantidad de pérdidas de cada uno de los módulos.

Por lo tanto, se pueden dar casos en los que sea preferible modificar levemente la corriente que pasa por los grupos para no provocar grandes variaciones de tensión en el grupo 1.

Gracias a los conocimientos adquiridos a lo largo de este proyecto, se puede intuir cual será la influencia del aumento del n° de módulos en serie y de series.

Cuantos más módulos en serie tenga un generador, mayor será el número de módulos que forman el grupo 2 al aplicar la conexión “Paralelo de N módulos”. Y por tanto, aumentará la importancia de mantener la corriente que pasa por ellos lo más próxima posible a la corriente del punto de máxima potencia de los módulos perfectos del generador.

En cambio, al aumentar el n° de series, aumenta el n° de módulos en paralelo de cada grupo, lo cual implica un pequeño incremento de la importancia de mantener la tensión del grupo 2 a la tensión del punto de máxima potencia de los módulos perfectos del generador. Aunque continua prevaleciendo la importancia de la corriente que pasa por ellos.

Conseguir unas condiciones de trabajo mejores o peores depende del tipo de defecto del módulo defectuoso, de su magnitud de defecto y como ya se ha explicado, de su configuración.

Con el fin de comprobar si dichas condiciones de trabajo de los módulos que forman el generador son mejores al aplicar la conexión “Paralelo de N módulos”, o por el contrario se empeoran, se han simulado mediante Matlab generadores de diferentes configuraciones, tipo y magnitud de defecto con la citada conexión.

Previa interpretación de la aplicación de la conexión “Paralelo de N módulos” en generadores con todos sus módulos diferentes entre sí, pero sin ninguno claramente deteriorado:

Al igual que en los generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno, la conexión “Paralelo de N módulos” supone una modificación en las relaciones entre los módulos que lo forman, que conlleva a mejorar o empeorar las condiciones de trabajo de dichos módulos, dependiendo del caso.

Se reordenan los módulos dentro del generador formándose dos grupos de módulos. Uno formado por el paralelo de un módulo de cada serie, en el que está incluido el módulo defectuoso, y otro con el resto de módulos.

La corriente es la misma para cada grupo de módulos. Pero en este caso, la importancia de mantener la corriente que pasa por los grupos y las tensiones de cada grupo dependen de las curvas I-V de los módulos que forman el generador.

4.2.3. CONEXIÓN “PARALELO DE 2 MODULOS”:

La Fig.4.5. muestra el modelado de la configuración “Paralelo de 2 módulos” para generadores 9sx4p. Las conexiones añadidas se muestran en color rojo.

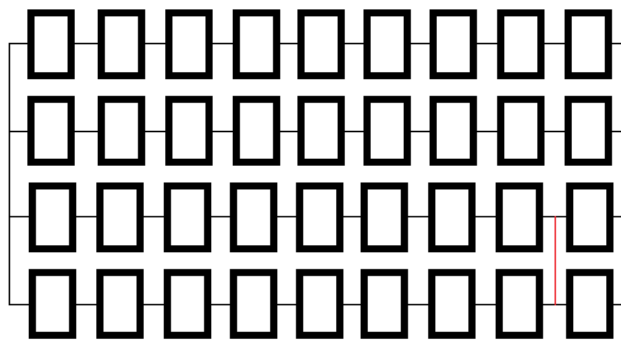


Fig.4.5. Modelado e la configuración “PARALELO DE 2 MÓDULOS” para generadores 9sx4p.

La Fig. 4.6. equivale a la Fig.4.5. pero con otra arquitectura.

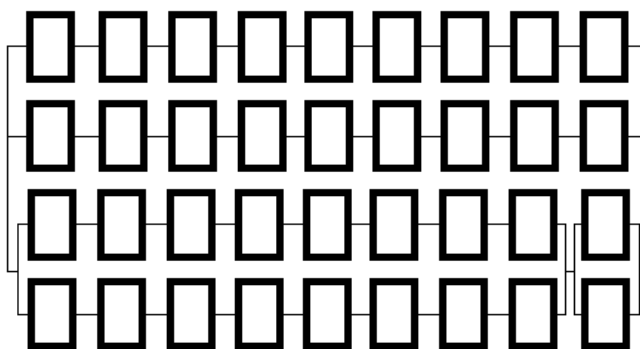


Fig.4.6. Modelado e la configuración “PARALELO DE 2 MÓDULOS” para generadores 9x4p.

La conexión “PARALELO DE 2 MODULOS” aplicada en los seguidores con todos sus módulos iguales y “perfectos” menos uno defectuoso, une en paralelo este último con otro módulo que no pertenece a su serie.

Aplicada en un seguidor creado mediante muestras aleatorias une en paralelo dos módulos cualesquiera de series diferentes.

Previa interpretación de la aplicación de la conexión “Paralelo de 2 módulos” en generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno:

Sin la utilización de ninguna conexión intermedia, las alteraciones que la presencia del módulo defectuoso provoca quedan reflejadas en las variaciones de corriente de la serie defectuosa y tensión de las series.

Ocurre exactamente lo mismo cuando se aplica esta conexión. Salvo que en esta ocasión la corriente del módulo defectuoso no es la que circula por los módulos de su serie primitiva, ni siquiera lo es la de los módulos de la serie primitiva de su paralelo. Esto puede suponer una ventaja o un inconveniente, ya que el módulo defectuoso y su paralelo quedan condicionados a trabajar a la misma tensión.

Gracias a los conocimiento adquiridos a lo largo de este proyecto, se puede intuir cual será la influencia del aumento del nº de módulos en serie y de series.

Conforme aumenta el nº de módulos en serie el porcentaje de módulos que no pertenecen a las series unidas permanece constante si el nº de series no varía, el de los módulos de la parte perfecta de las series unidas aumenta (siendo siempre menor que el anterior) y el porcentaje de módulos que representan el módulo defectuoso y el que esta paralelo a él disminuye siendo siempre el mismo para ambos.

Es decir, conforme aumenta el nº de módulos en serie aumenta la importancia de mantener trabajando a los módulos de la parte perfecta de las series unidas lo mas cerca posible de su punto de máxima potencia, disminuyendo a su vez la importancia de mantener al módulo defectuoso y al módulo paralelo a él. Sea cual sea el nº de

módulos en serie (siendo el nº de series mayor o igual que 4), siempre tiene prioridad el mantener lo más cerca posible del punto de máxima potencia a los módulos que no pertenecen a las series unidas.

En cambio, conforme aumenta el nº de series el porcentaje de módulos que no pertenecen a las series unidas aumenta si el nº de módulos en serie no varía, el de los módulos de la parte perfecta de las series unidas disminuye (siendo siempre menor que el anterior) y el porcentaje de módulos que representan el módulo defectuoso y el que esta paralelo a él disminuye siendo siempre el mismo para ambos.

Es decir, conforme aumenta el nº de series aumenta la importancia de mantener trabajando a los módulos que no pertenecen a las series unidas lo más cerca posible de su

punto de máxima potencia, disminuyendo a su vez la importancia de mantener a los módulos de la parte perfecta de las series unidas, al módulo defectuoso y al módulo paralelo a él.

Conseguir unas condiciones de trabajo mejores o peores depende del tipo de defecto del módulo defectuoso, de su magnitud de defecto y como ya se ha explicado, de su configuración.

Con el fin de comprobar si dichas condiciones de trabajo de los módulos que forman el generador son mejores al aplicar la conexión “Paralelo de 2 módulos”, o por el contrario se empeoran, se han simulado mediante Matlab generadores de diferentes configuraciones, tipo y magnitud de defecto con la citada conexión.

Previa interpretación de la aplicación de la conexión “Paralelo de 2 módulos” en generadores con todos sus módulos diferentes entre sí, pero sin ninguno claramente deteriorado:

Al igual que en los generadores con todos sus módulos perfectos excepto uno, la conexión “Paralelo de 2 módulos” supone una modificación en las relaciones entre los módulos que lo forman, que conlleva a mejorar o empeorar las condiciones de trabajo de dichos módulos, dependiendo del caso.

En este caso, la importancia de mantener la corriente que pasa por los grupos y las tensiones de cada grupo dependen de las curvas I-V de los módulos que forman el generador.

4.3. EN FUNCIÓN DEL TIPO DE DEFECTO. (CABLEADOS APLICADOS DIRECTAMENTE SOBRE EL MÓDULO DEFECTUOSO).

4.3.1. INTRODUCCIÓN.

A continuación se analizará la influencia de la aplicación de cableados intermedios en generadores con todos sus módulos iguales excepto uno en función de su configuración.

Los generadores analizados están formados por los mismos módulos utilizados en los apartados 2.4. y 2.5. del presente proyecto.

Las diferentes conexiones estudiadas son aplicadas directamente sobre el módulo defectuoso de cada generador, ya que resultaría inútil colocarlas en cualquier otro lugar siendo el resto de módulos iguales.

Como ya se ha explicado anteriormente, la conexión “Red” equivale a la conexión “paralelo de N módulos” en este tipo de generadores. Por lo tanto el análisis para cada tipo de defecto solo se realizará para las conexiones “paralelo de N módulos” y “paralelo de 2 módulos”.

4.3.2. DEFECTOS EN Tensión

Aplicación de las conexiones “paralelo N módulos” y “paralelo de 2 módulos”.

Al aplicar la conexión “paralelo de N módulos” o la conexión “paralelo de 2 módulos” se modifica la relación entre los módulos que forman el generador. Si este contiene un módulo con un defecto en tensión, debido a las características de su curva I-V, sus pérdidas por dispersión y totales disminuyen conforme aumenta el nº de módulos en serie o serie. Y al igual que ocurre cuando no existe ninguna conexión intermedia, dichas pérdidas son mayores cuanto mayor es el defecto en tensión del módulo.

En las Fig. 4.7. y 4.8. se muestra la diferencia en $V_{p.u.}$ entre las pérdidas cuando no se aplica ninguna conexión intermedia y cuando se aplica alguna de las conexiones intermedias en cuatro grupos de generadores distintos (dos de ellos con un módulo de alta R_s . de diferente valor y los otros 2 con un módulos de diferente V_{oc} . Los generadores de un mismo grupo presentan diferentes configuraciones).

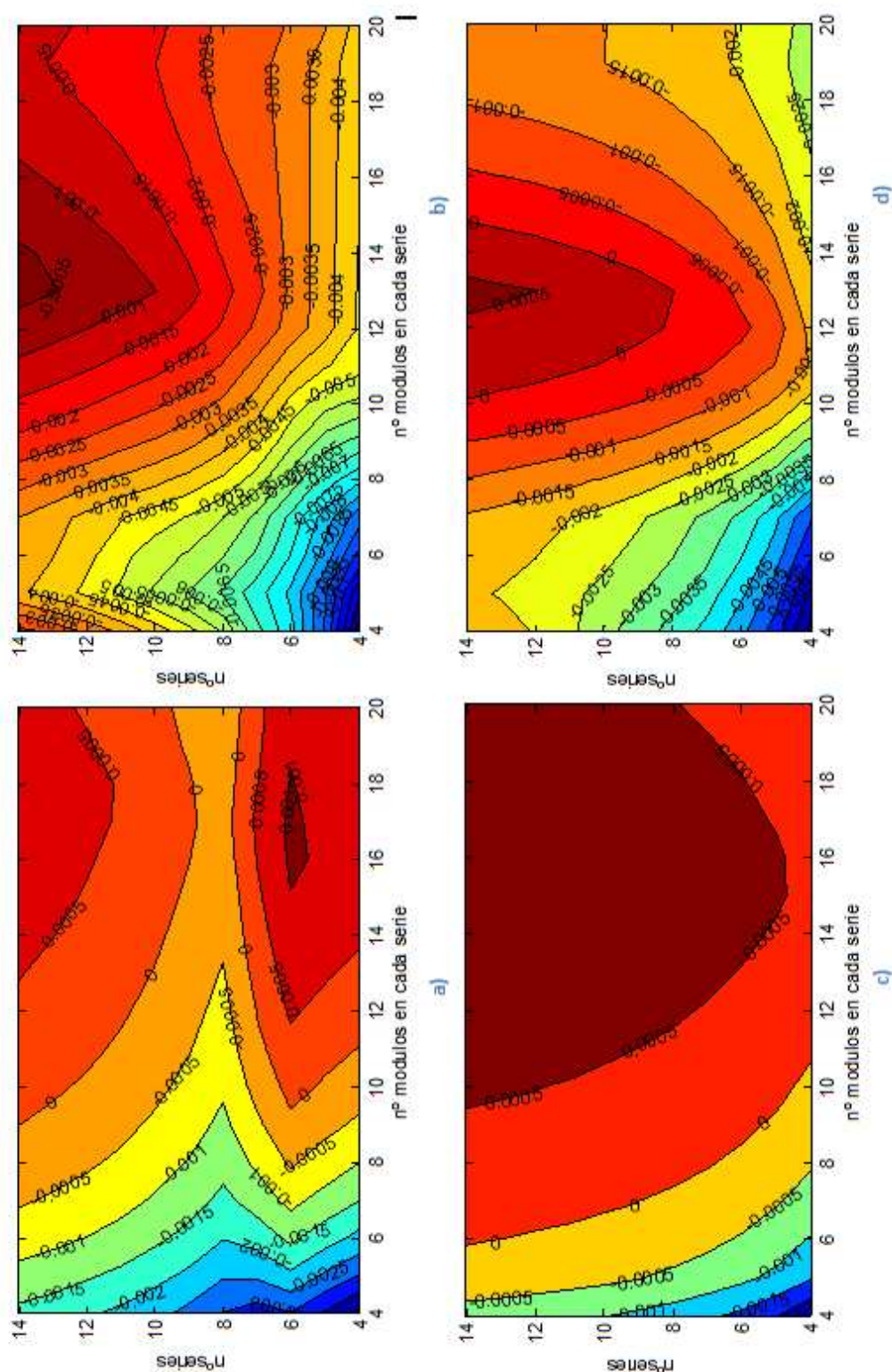


Fig.4.7. Diferencia de Pérdidas en V_{oc} entre generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna de las conexiones

- a) Conexión "paralelo de N módulos". Un módulo con alta R_s .
b) Conexión "paralelo de 2 módulos". Un módulo con muy alta R_s .
c) Conexión "paralelo de N módulos". Un módulo con baja R_s .
d) Conexión "paralelo de 2 módulos". Un módulo con muy baja R_s .

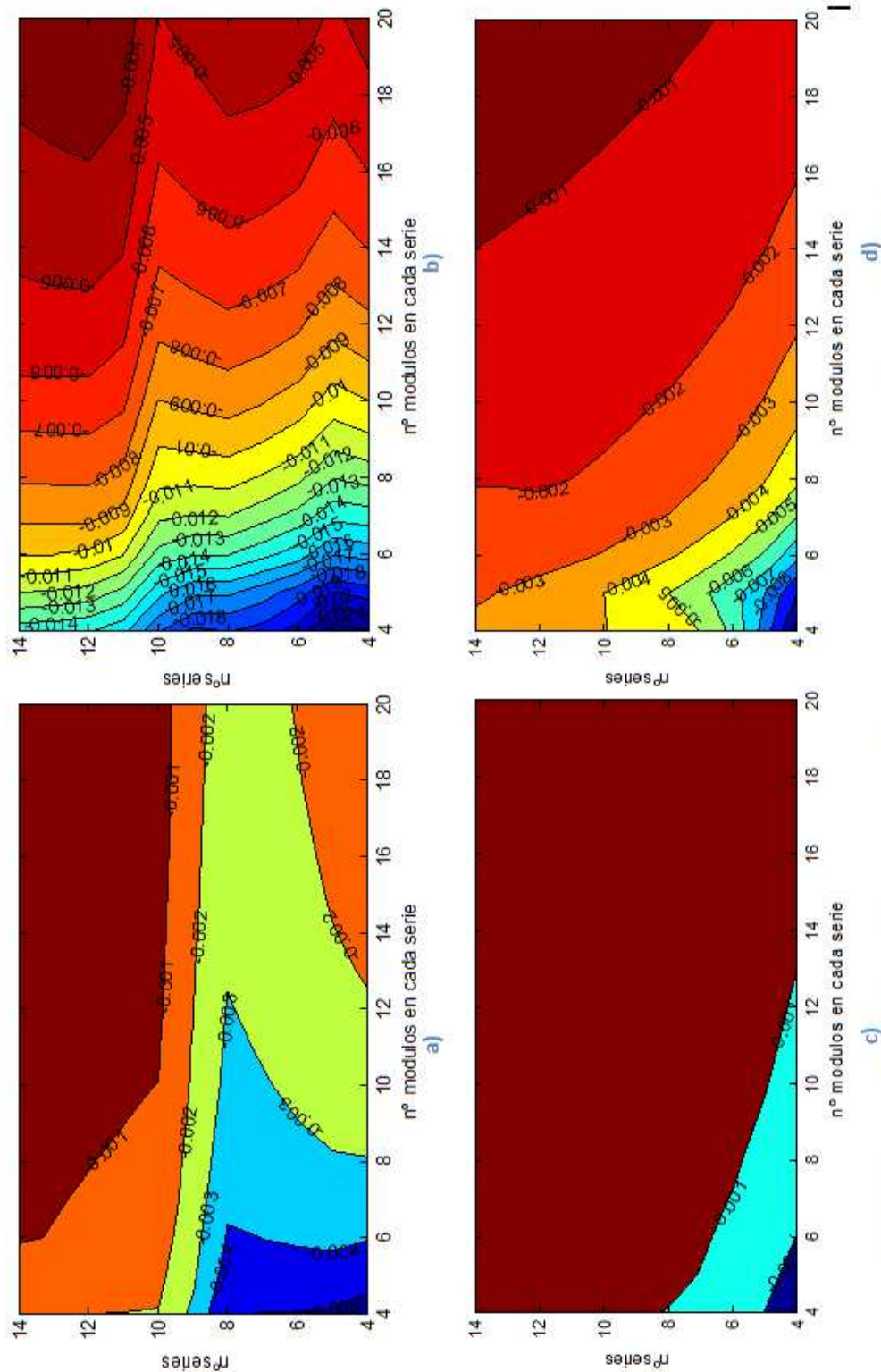


Fig.4.8. Diferencia de Pérdidas en Vp.u. entre generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna de las conexiones
a) Conexión "paralelo de N módulos". Un módulo con baja Voc.
b) Conexión "paralelo de 2 módulos". Un módulo con muy baja Voc.

La aplicación de estas conexiones aumenta las posibilidades en corriente, y por lo tanto también las restricciones en tensión. Dado que los generadores analizados poseen un módulo con un defecto en tensión, es lógico que la aplicación de estas conexiones, por lo general, no ofrezca resultados favorables. Para la mayoría de configuraciones y valores de R_s y V_{oc} , las pérdidas aumentan con respecto a las obtenidas sin ninguna conexión intermedia.

Cuantos más módulos en serie contiene el generador, menos influye la aplicación de estas conexiones. Y de igual modo cuanto mayor es la magnitud del defecto del módulo, más perjudicial puede resultar dicha aplicación. Es evidente que la conexión “paralelo de N módulos” influye más en las pérdidas que la conexión “paralelo de 2 módulos” ya que una supone un n° mayor de conexiones que la otra. Por tanto las pérdidas varían más al aplicar la primera conexión que la segunda.

En el caso de generadores con un módulo con alta R_s , al que se le ha aplicado la primera conexión, se han encontrado incrementos de pérdidas de hasta el 1% y ganancias del 0.1%. Mientras que al aplicarle la segunda conexión el máximo incremento que se ha hallado es de 0.7% y la máxima ganancia de 0.05%. En el caso de generadores con un módulo con baja V_{oc} , el máximo incremento de pérdidas al aplicar la primera conexión es de 2.2%. Mientras que si se aplica la conexión “paralelo de 2 módulos”, el incremento de pérdidas puede ser de hasta un 1%. En ninguno de los generadores con un módulo de baja V_{oc} , analizados se han encontrado casos de ganancias.

Se puede concluir que la aplicación de este método no es aconsejable en este tipo de generadores. Se arriesga mucho para conseguir muy poco.

4.3.3. DEFECTOS EN CORRIENTE.

Aplicación de las conexiones “paralelo N módulos” y “paralelo de 2 módulos”.

Al aplicar la conexión “paralelo de N módulos” o la conexión “paralelo de 2 módulos” se modifica la relación entre los módulos que forman el generador. Si este contiene un módulo con defecto en corriente, debido a las características de su curva I-V, sus pérdidas por dispersión y totales disminuyen conforme aumenta el n° de módulos en serie o serie. Y al igual que ocurre cuando no existe ninguna conexión intermedia, dichas pérdidas son mayores cuanto mayor es la magnitud de defecto en corriente del módulo defectuoso.

En las Fig. 4.9. y 4.10. se muestra la diferencia en $V_{p.u.}$ entre las pérdidas cuando no se aplica ninguna conexión intermedia y cuando se aplica alguna de las conexiones intermedias en cuatro grupos de generadores distintos (dos de ellos con un módulo con algunos “strings” bajos en corriente de diferente magnitud de defecto y los otros 2 con un módulos de diferente I_{sc} . Los generadores de un mismo grupo presentan diferentes configuraciones).

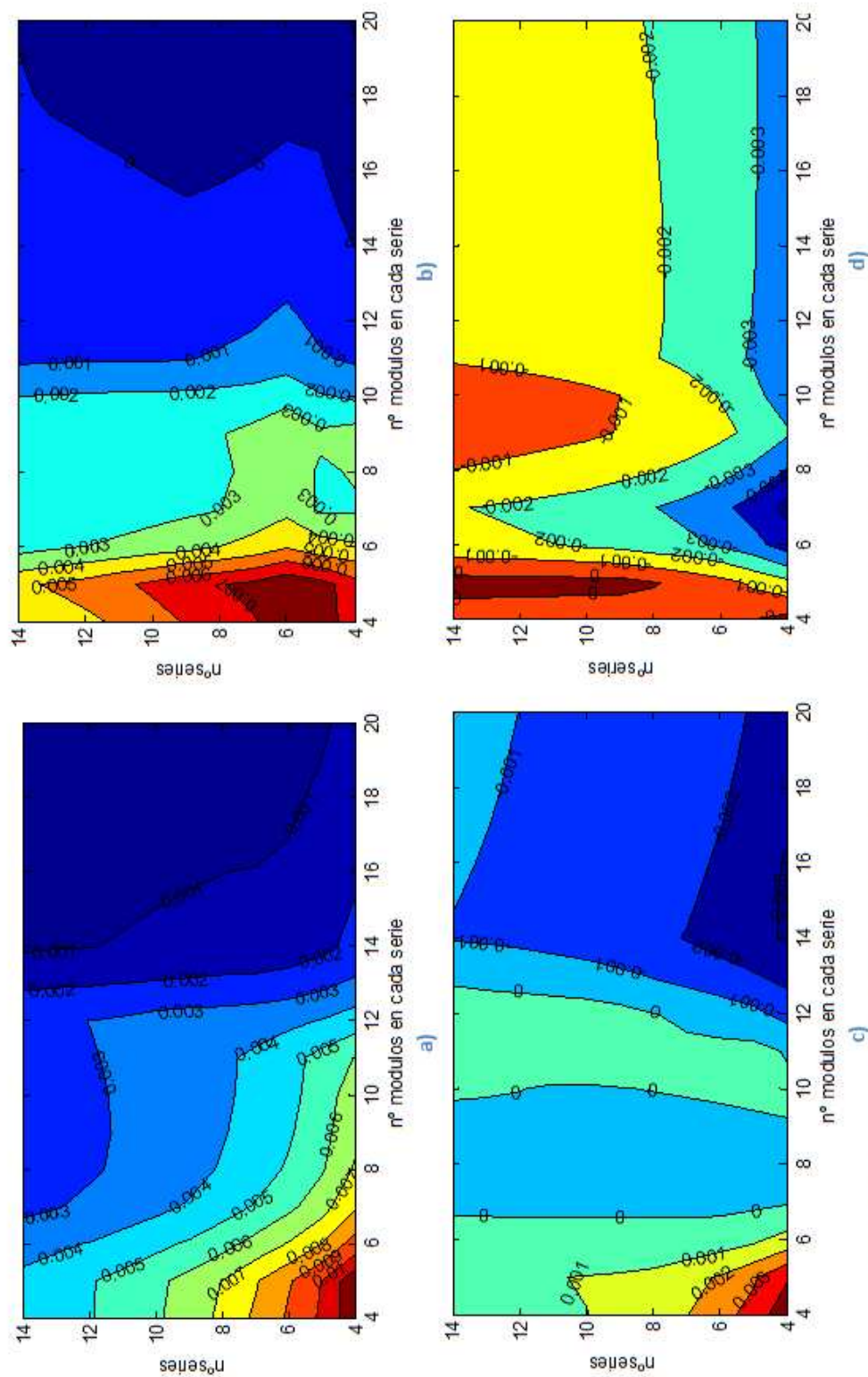


Fig.4.9. Diferencia de Pérdidas en Vn.u. entre generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna de las conexiones

- a) Conexión "paralelo de N módulos". Un módulo con algún "string" bajo en l.
- b) Conexión "paralelo de N módulos". Un módulo con algún "string" bajo en l.
- c) Conexión "paralelo de 2 módulos". Un módulo con algún "string" bajo en l.
- d) Conexión "paralelo de 2 módulos". Un módulo con algún "string" bajo en l.

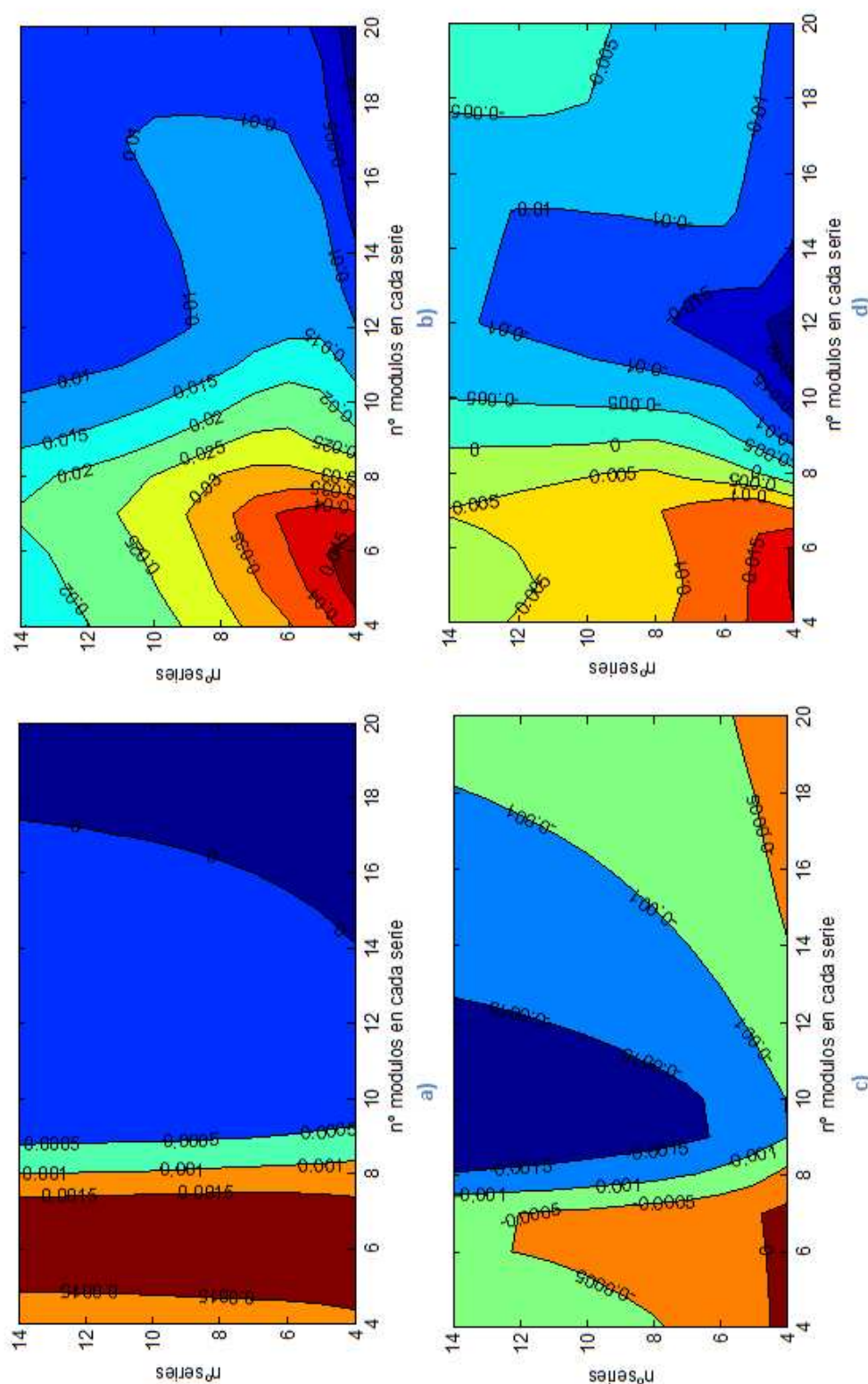


Fig.4.10. Diferencia de Pérdidas en V_{oc} entre generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna de las conexiones

- a) Conexión "paralelo de N módulos". Un módulo con baja Isc.
b) Conexión "paralelo de N módulos". Un módulo con muy baja Isc.
c) Conexión "paralelo de 2 módulos". Un módulo con baja Isc.
d) Conexión "paralelo de 2 módulos". Un módulo con muy baja Isc.

La aplicación de estas conexiones aumenta las posibilidades en corriente. Dado que los generadores analizados poseen un módulo con un defecto en corriente, es lógico que la aplicación de estas conexiones, por lo general, ofrezca resultados favorables, o, en los peores casos, no muy desfavorables. Para la mayoría de configuraciones y magnitudes de defecto en corriente las pérdidas disminuyen con respecto a las obtenidas sin ninguna conexión intermedia.

Cuanto más módulos en serie contiene el generador, menos influye la aplicación de estas conexiones. Y de igual modo cuanto mayor es la magnitud del defecto del módulo, más favorecedora resulta dicha aplicación.

Como ya se ha visto en defectos en tensión, es evidente que la conexión “paralelo de N módulos” influye más en las pérdidas que la conexión “paralelo de 2 módulos” ya que una supone un nº mayor de conexiones que la otra. Por tanto las pérdidas varían más al aplicar la primera conexión que la segunda.

En el caso de generadores con un módulo con algunos “strings” bajos en corriente al que se le ha aplicado la primera conexión, se han encontrado reducciones de pérdidas de hasta el 1.1%. Mientras que al aplicarle la segunda conexión la máxima reducción que se ha hallado es tan solo del 0.3%. En el caso de generadores de con un módulo con todos sus “strings” bajos en corriente (baja Isc.) la máxima reducción de pérdidas al aplicar la primera conexión es de 4.5% (nótese que las pérdidas en estos casos también son muy elevadas). Mientras que aplicar la segunda conexión no resulta en general favorable, dado que nos podemos encontrar reducciones e incrementos de pérdidas similares, de hasta un 2%.

Se puede concluir que la aplicación de la conexión “paralelo de N módulos” es aconsejable en este tipo generadores, mientras que al aplicar la “conexión paralelo de 2 módulos” no siempre se consiguen ganancias.

4.3.4. COMPARACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CONEXIONES INTERMEDIAS PARA DIFERENTES TIPOS DE DEFECTOS.

Según los resultados obtenidos en el presente estudio, la aplicación de cableado intermedio en generadores con un módulo defectuoso en corriente es, en general, más efectiva que en generadores con un módulo con un defecto en tensión. Influyendo más cuantos más módulos se vean afectados.

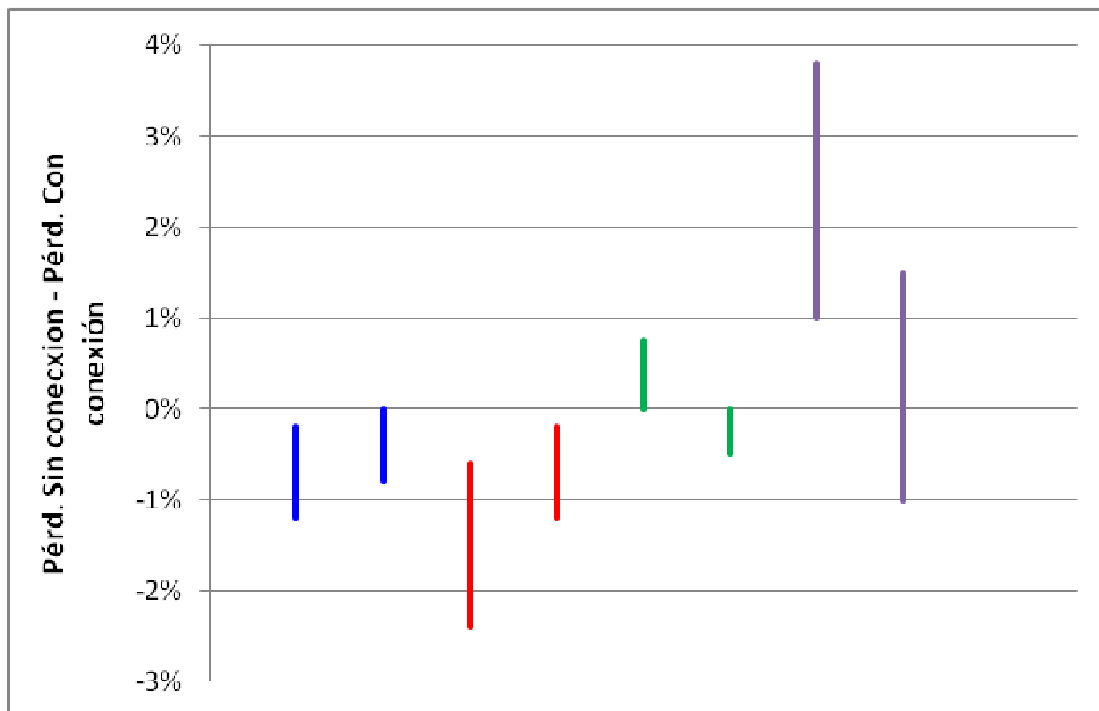
Con el fin de comparar la influencia de la aplicación de conexiones intermedias sobre las pérdidas que dichos módulos defectuosos provocan en el generador, se han simulado diferentes grupos de generadores.

En total, mediante la utilización de Matlab, se han simulado 8 grupos de generadores. Cada uno de los generadores se distingue en su configuración del resto de generadores de su grupo. Y en el tipo de módulo defectuoso que contiene, y en la conexión intermedia que se le ha aplicado, del resto de generadores de los demás grupos. Dado que se ha hecho el estudio para dos conexiones intermedias (*Paralelo de N módulos*, y *Paralelo de 2 módulos*) y para cuatro tipos de defectos (alta Rs., baja Voc., algunos “strings” bajos en corriente y

baja I_{sc}), se tienen dos grupos de generadores por cada tipo de defecto, cada uno de ellos con una conexión intermedia diferente.

Para conseguir una buena comparación, cada uno de los diferentes tipos de módulos defectuoso tiene la misma magnitud de defecto, su potencia máxima es un 28% menor que la potencia nominal.

La gráfica 4.11. muestra en qué cantidad se reducen o incrementan las pérdidas al aplicar cada una de las conexiones analizadas. Concretamente, entre que valores están esas reducciones e incrementos de pérdidas en los generadores de cada grupo, ya que para cada configuración la influencia varía.



- Generadores con un módulo con alta R_s .
- Generadores con un módulo con baja V_{oc} .
- Gen. con un mód. con algunos "strings" bajos en corriente.
- Generadores con un módulo con baja I_{sc} .

1ª BARRA: "Paralelo de N módulos".
2ª BARRA: "Paralelo de 2 módulos".

Fig.4.11. Rangos de diferencia de Pérdidas en % de varios grupos de generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna conexión intermedia.

Tabla.4.1. Rangos de diferencia de Pérdidas en % de varios grupos de generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna conexión intermedia.

	Conexión "Paralelo de N módulos"	Conexión "Paralelo de 2 modulos"
Con un módulo con alta Rs.	-1.20 , -0.20%	-0.80 , 0%
Con un módulo con baja Voc.	-2.40 , -0.60 %	-1.20 , -0.20%
Con un módulo con algunos "strings" bajos en corriente	0 , 0.75 %	-0.50 , 0%
Con un módulo con baja Isc.	1 , 3.80 %	-1 , 1.50%

Como ya se preveía, las conexiones intermedias reducen las pérdidas en el caso de generadores con un módulo defectuoso en corriente, y concretamente para esta magnitud de defecto, únicamente con la conexión paralelo de N módulo se asegura no incrementar las pérdidas para, prácticamente, ninguna configuración de seguidor.

5.4. EN GENERADORES CREADOS MEDIANTE MUESTRAS ALEATORIAS.

5.4.1. INTRODUCCIÓN.

A continuación se analizará la influencia de la aplicación de cableados intermedios en generadores con todos sus módulos distintos, pero sin ninguno claramente deteriorado.

Los generadores analizados están formados por los mismos módulos utilizados en el apartado 3 del presente proyecto.

Según se concluyó en el citado apartado, la influencia del nº de módulos en serie y el nº de series en un generador real (sin módulos exactamente iguales) varía considerablemente de un generador a otro, o incluso, de un generador con un orden de módulos a él mismo con otro orden. Es decir, depende de la forma de la curva I-V de los módulos que lo componen y del lugar que estos ocupan. Además, no existe una relación directa entre las pérdidas del generador y su nº de módulos en serie o series.

Lo cual implica que los resultados obtenidos en el siguiente estudio no son directamente asociables a cualquier generador de este tipo. De hecho se han comparado los resultados de diferentes generadores para mostrar las diferencias que pueden aparecer.

Por otro lado, gracias a los estudios previos realizados en el proyecto [MUÑ 09], se sabe que la conexión “Red” en generadores reales produce pocas mejoras, por lo cual su aplicación puede llegar a disminuir la rentabilidad de la instalación. Con el fin de reducir el cableado necesario se estudiará el efecto de aplicar conexiones más simples. Para ello se ha añadido una conexión mas de las analizadas hasta el momento.

En concreto, el análisis se realizará para cuatro conexiones intermedias diferentes, cada una de ellas con menos cableado que la anterior: “Red”, “Red por parejas”, “Paralelo de N módulos” y “Paralelo de 2 módulos”.

5.4.2. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “RED”.

Como ya se ha dicho la conexión “Red”, en este tipo de generadores, supone una modificación en las relaciones entre los módulos que lo forman, se reordenan los módulos dentro del generador formándose una serie de grupos de módulos en paralelo. Lo cual conlleva a modificar las condiciones de trabajo de dichos módulos.

Las pérdidas por dispersión y totales de un generador al que se la ha aplicado la conexión “Red”, al igual que si no cuenta con ninguna conexión intermedia, no guardan una relación directa con el nº módulos en serie o series.

En la Fig4.11. se muestra la diferencia de pérdidas entre un generador de este tipo al que se la ha aplicado la conexión “Red” y el mismo sin conexiones intermedias.

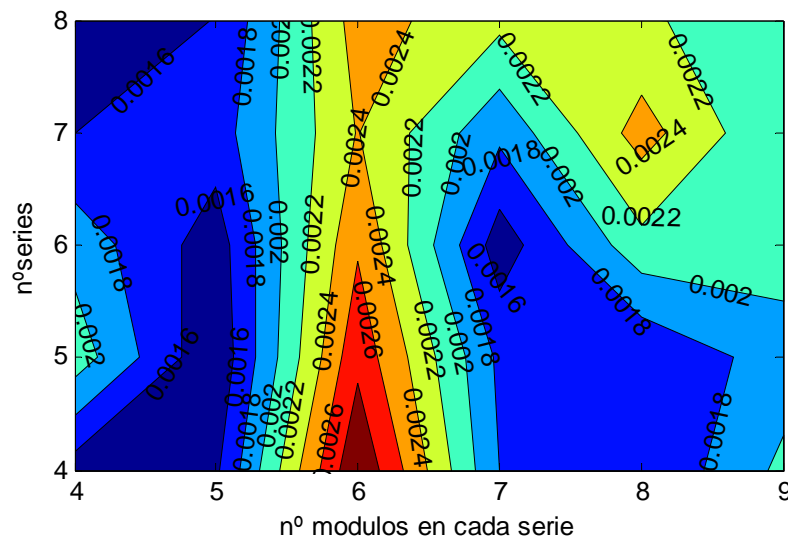


Fig.4.11. Diferencia de Pérdidas en Vp.u. entre generadores sin ninguna conexión y intermedia y con la conexión “Red”.

Para cualquier configuración de seguidor, las pérdidas en este tipo de generadores disminuyen si se le aplica la conexión “Red”.

La cantidad en que estas disminuyen depende de la forma de la curva de los módulos que forman el generador, del lugar que ocupan, y de la configuración del mismo.

Aplicando la conexión “Red” en este generador se consigue disminuir las pérdidas entre un 0.16 y un 0.28%.

Se puede concluir que es aconsejable la aplicación de este método en generadores reales, siempre y cuando el coste de la realización de las conexiones no sea muy elevado, ya que no se espera obtener grandes ganancias.

5.4.3. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “RED POR PAREJAS”

La Fig.4.12. muestra el modelado de la configuración “Red por parejas” para generadores 9sx4p, con las conexiones añadidas en color rojo.

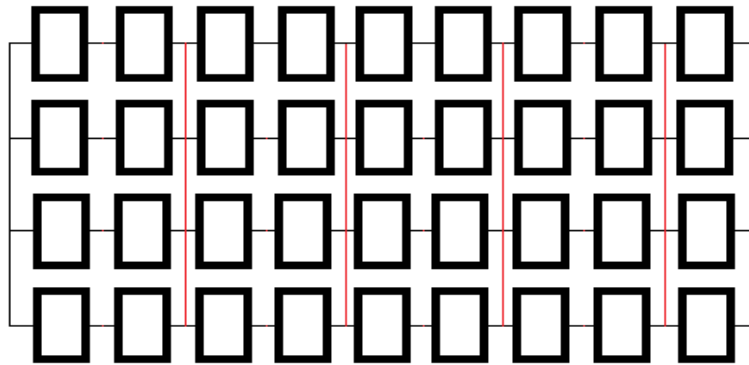


Fig.4.12. Modelado de la configuración “RED” para generadores 9sx4p.

La Fig.4.13. es equivalente a la Fig.4.12., con otra arquitectura.

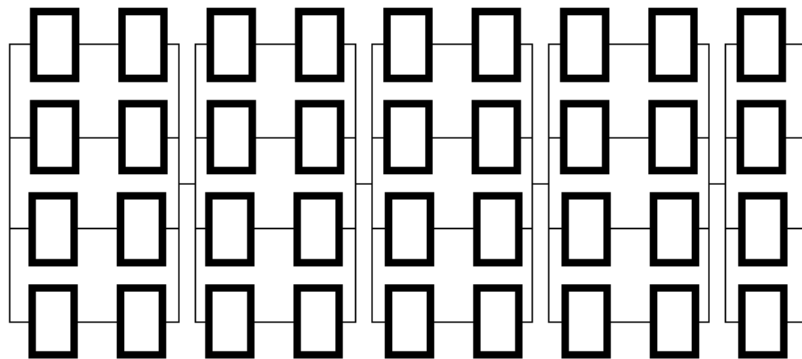


Fig.4.13. Descomposición de la configuración “RED” para generadores 9sx4p.

Aplicar esta conexión, también implica reorganizar las relaciones entre los módulos del generador. Se forma una serie de grupos de módulos. Y de igual manera que las demás conexiones detalladas, esto conlleva a mejorar o empeorar las condiciones de trabajo de dichos módulos, dependiendo del caso.

Se reordenan los módulos dentro del generador formándose una serie de grupos de módulos. Cada grupo está formado por parejas de módulos en serie puestas en paralelo, tantas como series tiene el generador. Se crean tantos grupos como parejas se pueden hacer con los módulos de una serie. En el caso de que el nº de módulos en serie sea impar, el último grupo estará formado por módulos en paralelo, y no por parejas de módulos en serie puestas en paralelo.

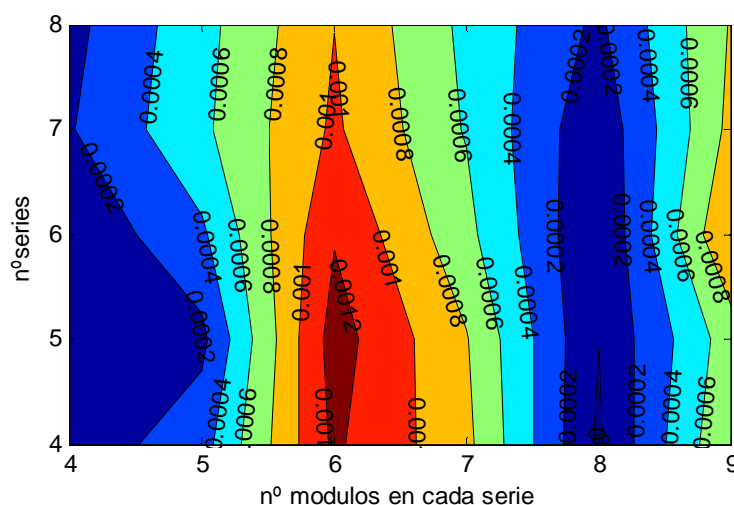
Dichas ganancias son menores que las obtenidas al aplicar la conexión “Red”, pero teniendo en cuenta que el cableado necesario es menor, puede que compense más aplicar la conexión “Red por parejas”.

5.4.4. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “PARALELO DE N MÓDULOS”

Como ya se ha dicho la conexión “Paralelo de N módulos”, en este tipo de generadores, supone una modificación en las relaciones entre los módulos que lo forman, se reordenan los módulos dentro del generador formándose una serie de dos grupos de módulos en paralelo. Lo cual implica una modificación en las condiciones de trabajo de dichos módulos.

Las pérdidas por dispersión y totales de un generador al que se le ha aplicado la conexión “Paralelo de N módulos”, al igual que si no cuenta con ninguna conexión intermedia, no guardan una relación directa con el nº módulos en serie o series.

En la Fig4.15. se muestra la diferencia de pérdidas entre un generador de este tipo al que se le ha aplicado la conexión “Paralelo de N módulos” y el mismo sin conexiones intermedias.



sea muy elevado, ya que no se espera obtener grandes ganancias. Dichas ganancias son menores que las obtenidas al aplicar las conexiones “Red” o “Red por parejas, pero teniendo en cuenta que el cableado necesario es mucho menor, puede que compense más aplicar la conexión “Paralelo de N módulos”.

4.4.5. EFECTO DE APLICAR LA CONEXIÓN “PARALELO DE 2 MÓDULOS”

Como ya se ha dicho la conexión “Paralelo de 2 módulos” en este tipo de generadores, supone una modificación en las relaciones entre los módulos que lo componen. Se reordenan los módulos dentro del generador formándose varios grupos de módulos. Lo cual implica una modificación en las condiciones de trabajo de dichos módulos.

Las pérdidas por dispersión y totales de un generador al que se la ha aplicado la conexión “Paralelo de 2 módulos”, al igual que si no cuenta con ninguna conexión intermedia, no guardan una relación directa con el nº módulos en serie o series. En la Fig4.16. se muestra la diferencia de pérdidas entre un generador de este tipo al que se la ha aplicado la conexión “Paralelo de 2 módulos” y el mismo sin conexiones intermedias.

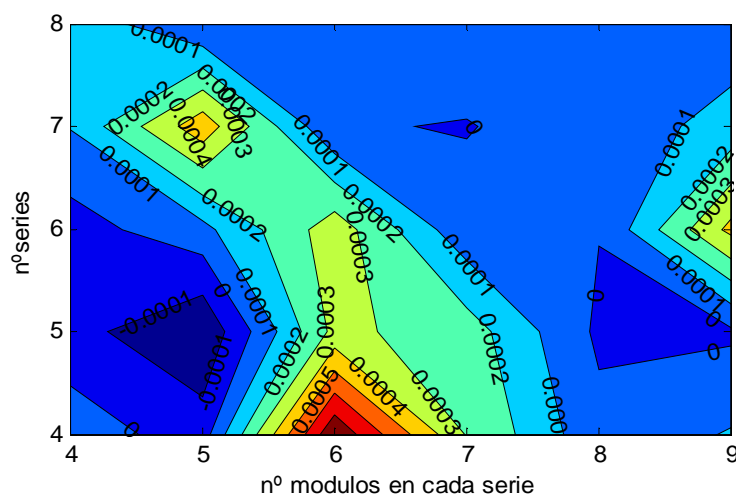


Fig.4.16. Diferencia de Pérdidas en Vp.u. entre generadores sin ninguna conexión y con la conexión “Paralelo de 2 módulos”.

La aplicación de la conexión “Paralelo de 2 módulos” en este generador no garantiza la disminución de las pérdidas. Para algunas configuraciones de seguidor, las pérdidas disminuyen y para otras aumentan.

Dichas variaciones de pérdidas no son muy significativas en ningún caso. El máximo incremento de las mismas en este seguidor es de un 0.01% y la máxima disminución es de 0.07%.

Se puede concluir que no es aconsejable la aplicación de este método en generadores reales. Pese a que el precio de la realización de la conexión intermedia es pequeño, no asegura un mínimo de ganancias y además existe el riesgo de aumentar ligeramente las pérdidas.

4.4.6. COMPARACIÓN DE VARIOS GENERADORES DISTINTOS.

Como se ha dicho, el efecto de cada una de las conexiones aplicadas depende de la curva I-V de los módulos que componen el generador y de la colocación de los mismos, es decir, de su dispersión. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este análisis no son asociables a cualquier otro generador.

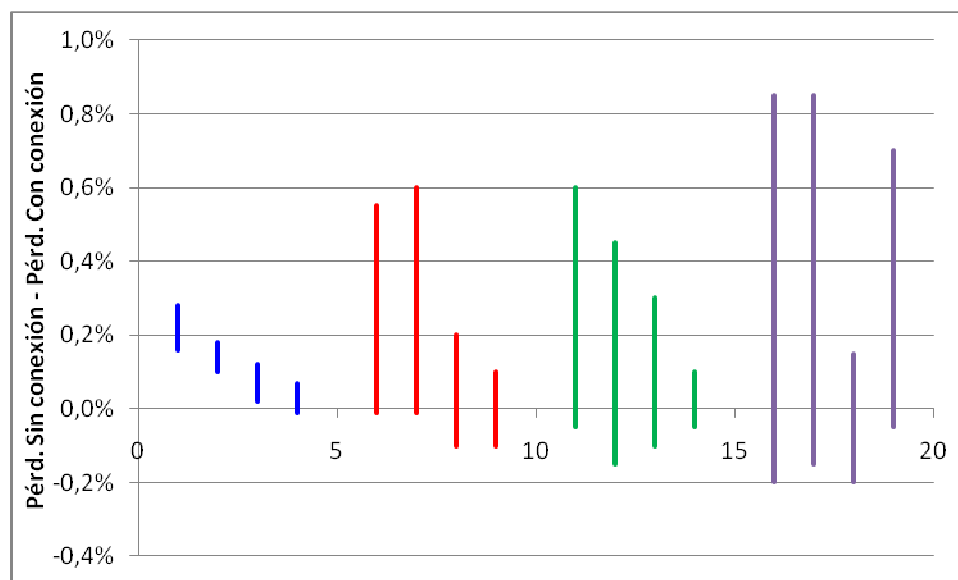
Se ha simulado la aplicación de las conexiones analizadas en varios generadores creados mediante distribuciones de módulos reales de la Huerta de Solar de Milagro con el fin de comprobar si los resultados analizados guardan alguna relación con casos reales, donde la dispersión de los módulos es algo mayor.

En concreto se han utilizado tres generadores: E19, C15 y G03. La potencia del generador E19 es superior a la media, la del C15 está cercana a la media y por último la del G03 es inferior a la media.

Con la distribución de módulos propia de cada uno de ellos se han formado 3 grupos de generadores, (uno por cada generador real). Los generadores de cada grupo comparten distribución de módulos, pero varían en configuración. Así, se han hallado las pérdidas en cada uno de ellos al aplicarles cada una de las conexiones y se han comparado con las que tendrían sin ninguna conexión intermedia.

El gráfico de la figura 4.17. muestra las diferencias de pérdidas en porcentaje de la potencia nominal (los rangos de valores de la resta *Pérdidas sin aplicar ninguna conexión – Pérdidas con alguna conexión intermedia*) que se dan entre cada uno de los grupos de generadores creados mediante las distribuciones de módulos de cada uno de los generadores reales mencionados, al aplicar cada una de las conexiones intermedias estudiadas. A cada grupo de generadores le corresponden cuatro barras (con su respectivo color). Cada una de ellas representa los rangos de diferencia de pérdidas entre el generador sin ninguna conexión intermedia y con cada una de las conexiones, que se obtienen en el conjunto de configuraciones estudiadas. La primera barra corresponde a la aplicación de la conexión “Red”, la segunda barra a “Red en parejas”, la tercera barra a “paralelo de N módulos” y la cuarta barra a “paralelo de 2 módulos”.

La tabla 4.1. muestra los valores de los rangos de variación de pérdidas representados en la Fig.4.17.



Distribución creada mediante muestras aleatorias	1ª BARRA: "Red".
Distribución del generador E19.	2ª BARRA: "Red en parejas".
Distribución del generador C15.	3ª BARRA: "Paralelo de N módulos".
Distribución del generador G03.	4ª BARRA: "Paralelo de 2 módulos".

Fig.4.17. Rangos de diferencia de Pérdidas en % de varios generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna conexión intermedia.

Tabla.4.1. Rangos de diferencia de Pérdidas en % de varios generadores sin ninguna conexión intermedia y con alguna conexión intermedia.

	Conexión "RED"	Conexión "Red por parejas"	Conexión "Paralelo de N módulos"	Conexión "Paralelo de 2 modulos"
Distribución creada mediante muestras aleatorias	0.16 , 0.28 %	0.10 , 0.18 %	0.02 , 0.12 %	-0.01 , 0.07 %
Distribución E19	-0.01 , 0.55 %	-0.01 , 0.6 %	0.00 , 0.45 %	-0.15 , 0.65 %
Distribución C15	-0.05 , 0.60 %	-0.15 , 0.45 %	0.05 , 0.25 %	-0.05 , 0.30 %
Distribución G03	-0.20 , 0.85 %	-0.15 , 0.85 %	-0.10 , 0.1 %	-0.05 , 0.10 %

La influencia de una misma conexión intermedia en diferentes generadores reales es muy variada debido a las diferentes distribuciones de módulos que presentan. En la Fig. 4.17. se aprecia claramente como ninguna de las conexiones analizadas afecta por igual a ninguno de los generadores estudiados.

En general, para cualquier tipo de generador en el que se aplique alguna de las conexiones, y para cualquier configuración del mismo, las pérdidas disminuyen. Aunque cuantas menos uniones entre módulos se hacen, mas configuraciones hay para las que las pérdidas aumentan, y en general, menores ganancias se obtienen.

5. ANÁLISIS DE UN CASO REAL: MÓDULOS YINGLI.

5.1. INTRODUCCIÓN.

Todos los fabricantes de módulos F.V. deben proporcionar unas garantías mínimas de calidad en sus productos. Para ello deben pasar numerosos controles y detallar correctamente las características de cada tipo de módulo, con sus incertidumbres correspondientes.

No obstante, como ya se ha visto, pueden aparecer módulos defectuosos en una huerta solar, ya que dichos controles y la determinación de sus características solo son realizados para unas determinadas muestras del total de módulos fabricados, y a que, además, muchos de ellos se estropean estando en funcionamiento.

Un ejemplo muy claro de ello son los módulos Yingli instalados en la Huerta Solar de ACCIONA en Milagro. En el análisis termográfico de dicha huerta, se observó un gran número de células con temperatura superior al resto. Tras varias tomas de medidas en campo de diferentes seguidores y módulos, se detectó una cantidad mayor de la habitual de módulos con una deformación en su curva I-V.

Se cree que dichos defectos son motivo de un problema de fabricación que no pudo ser detectado en los controles previos a su puesta en el mercado. Los escalones en corriente que presentan sus curvas I-V hacen creer que se trata de módulos con baja corriente en algunos de sus “strings”, módulos con células deterioradas que pueden llegar a provocar la activación del diodo de paso del “string” al que pertenecen.

Debido a lo inusual de la situación, se están llevando a cabo diversos estudios con el fin de determinar las causas que la han provocado. Con el pretexto de contribuir a ello y debido a la posibilidad que se abre de realizar una aplicación real y productiva de los conocimientos adquiridos a lo largo del presente proyecto, se analizará la influencia de varios módulos Yingli defectuosos.

Se analizará su influencia en los módulos que comparten seguidor con ellos, y en la potencia total generada. En concreto se trabajará con cuatro módulos Yingli defectuosos diferentes. Se crearán generadores con todos sus módulos iguales excepto uno, o varios, defectuosos que ocuparán distintos lugares en el generador.

5.2. GENERADORES YINGLI 10sx4p CON UN SOLO MÓDULO DEFECTUOSO.

Se han creado cuatro generadores diferentes, A, B, C y D. Cada uno de ellos consta de 39 módulos idénticos (sin defecto) y uno defectuoso. Dicho módulo defectuoso es diferente en cada uno de los generadores.

Al igual que en los estudios anteriores, los módulos de un generador quedan divididos en tres grupos: módulo defectuoso, módulos que comparten serie con el defectuoso y resto de módulos del generador. La Fig. 5.1. muestra las curvas I-V de los módulos que componen los cuatro generadores simulados, junto a sus PMP y puntos de trabajo.

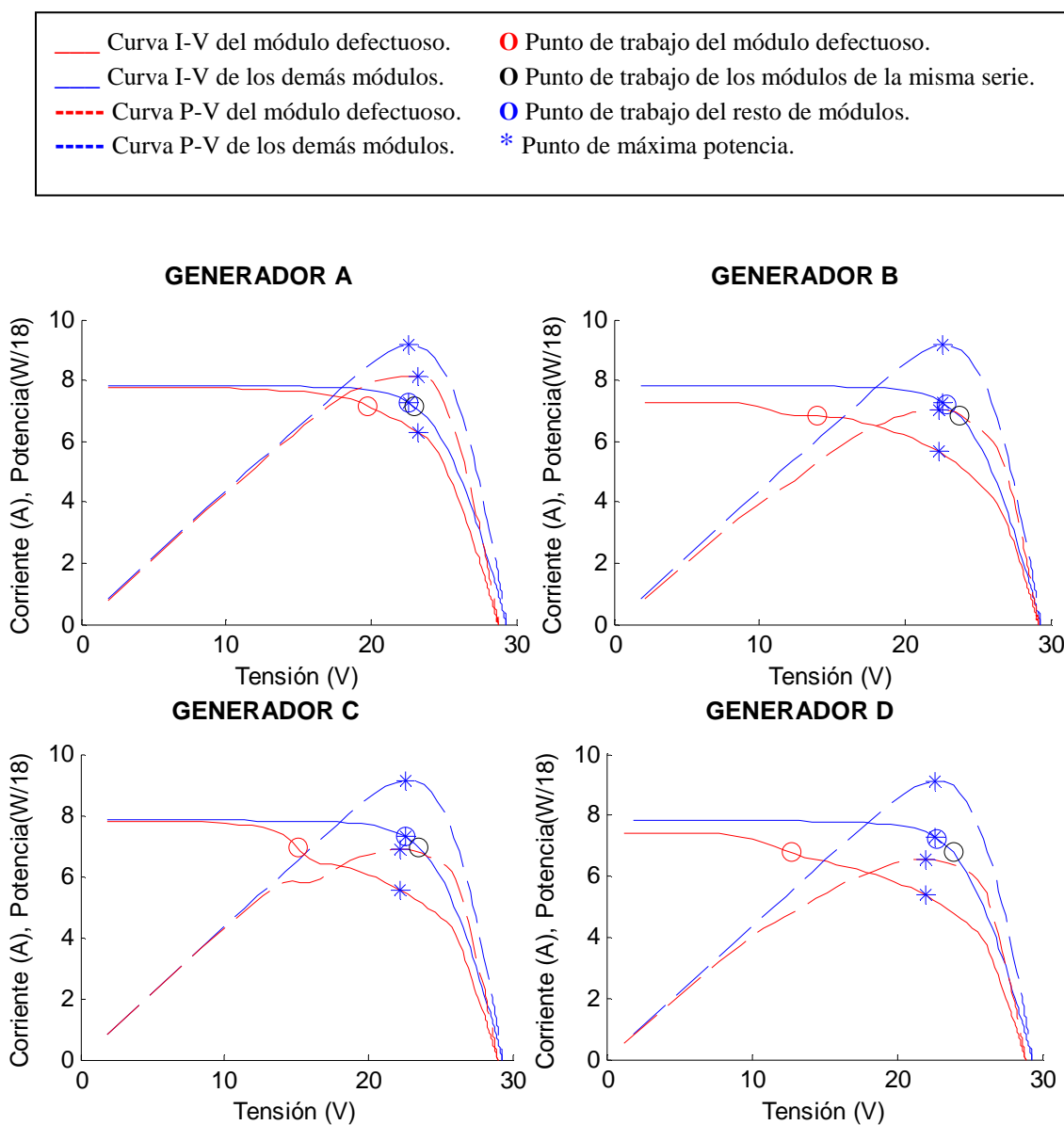


Fig. 5.1. Curvas I-V de los módulos de los cuatro generadores simulados.

Los cuatro generadores analizados con este tipo de módulos defectuosos tienden a mantener la tensión de las series mediante una importante modificación de la tensión del módulo defectuoso (efecto propio de los módulos con baja corriente en alguno de sus “strings”). En particular la modificación necesaria del módulo defectuoso del generador A es mucho menor que la del resto debido a que dicho módulo presenta un nivel de defecto bastante menos notable, además las modificaciones que este genera en los demás módulos también son considerablemente menores.

Como era esperado, los módulos Yingli pueden presentar diferentes niveles de defecto, la mayoría de ellos a causa de una baja corriente por alguno de sus “strings”.

En la Tabla 5.1. se muestran los valores de pérdidas por dispersión que este tipo de módulos ocasiona en los módulos con los que comparte generador y en él mismo. Y en la Tabla 5.2. las pérdidas por dispersión y totales de cada generador analizado.

Tabla. 5.1. Pérdidas por dispersión ocasionadas por el módulo defectuoso.

PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	Módulo defectuoso	Módulos misma serie	Resto de módulos
Generador A	2,90%	0,14%	0,00%
Generador B	18,72%	1,53%	0,08%
Generador C	11,45%	0,82%	0,00%
Generador D	19,18%	1,71%	0,05%

Tabla. 5.2. Pérdidas por dispersión y totales ocasionadas por el módulo defectuoso.

	Generadores	
	Pérdidas por dispersión.	Pérdidas Totales.
Generador A	0,11%	0,38%
Generador B	0,87%	1,45%
Generador C	0,49%	1,11%
Generador D	0,90%	1,61%

Las diferencias entre la magnitud de defecto del generador A y las del resto de generadores quedan reflejadas en sus pérdidas. Si se consideran por separado, se podría concluir que los módulos Yingli con un defecto “leve” ocasionan un 0.10%, aproximadamente, de pérdidas por dispersión en el generador del que forman parte, y un 40% de pérdidas totales. Mientras que si se trata de un defecto “importante”, las pérdidas por dispersión rondan el 0.75% y las totales un 1.40%.

En el módulo defectuoso las pérdidas por dispersión están en un 3% si el defecto es “leve” y en un 16%, aproximadamente, si el defecto es “importante”. En los módulos que comparten serie con él entre un 0.14 % en el primer caso y uno 1.35% en el segundo. Y por último las pérdidas por dispersión en el resto de módulos son prácticamente nulas en todos los casos.

La Fig.5.2. muestra gráficamente las pérdidas por dispersión en los módulos de cada uno de los generadores analizados y la Fig.5.3. las pérdidas por dispersión y totales en cada uno de los generadores. Dichas figuras permiten realizar una comparación visual y rápida de las pérdidas.

- Módulo defectuoso de cada generador.
- Módulos de la misma serie que el defectuoso de cada generador.
- Resto de módulos de cada generador.

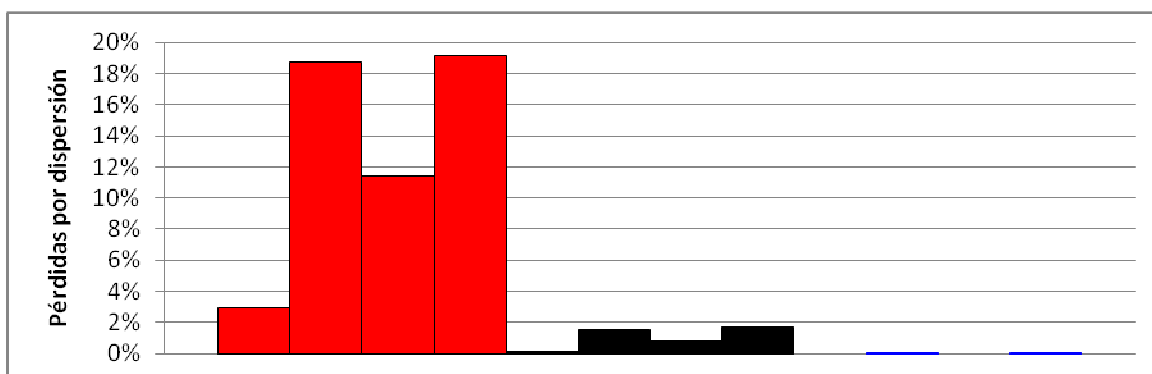


Fig. 5.2. Pérdidas por dispersión en los módulos de los cuatro generadores simulados.

- Generadores simulados

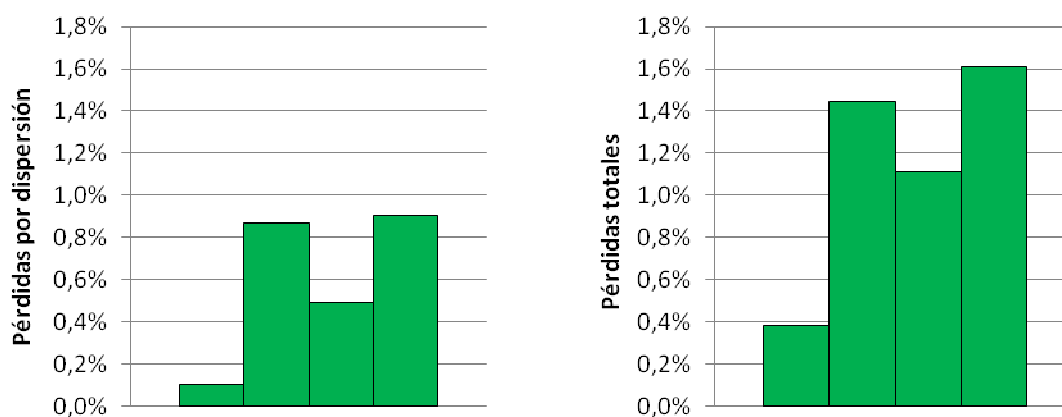


Fig. 5.3. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados.

Las pérdidas totales que los módulos Yingli defectuosos ocasionan en el generador del que forman parte están compuestas principalmente de sus propias pérdidas por dispersión y totales.

En las Fig.5.2 y 5.3. se ve perfectamente como las pérdidas en los generadores B, C y D, y en sus módulos, son muy similares y superiores a las del generador A.

5.3. GENERADORES YINGLI 10sx4p CON DOS MÓDULOS DEFECTUOSOS EN UNA MISMA SERIE.

Se ha evidenciado que el defecto que sufren muchos de los módulos Yingli es una baja corriente en alguno de sus “strings”, provocada por el deterioro de una o varias de sus células.

Dado que dicho defecto puede aparecer en cualquiera de los módulos Yingli de la Huerta Solar, es posible que dos de ellos coincidan en una misma serie.

Para entender la influencia mutua que se provoca y la influencia conjunta que se ejerce sobre los demás módulos del generador, se analizarán cuatro generadores con dos módulos defectuosos en una misma serie. En un primer análisis, los generadores contarán con 38 módulos iguales y considerados perfectos, y dos módulos defectuosos también iguales entre sí. Y posteriormente los dos módulos defectuosos serán diferentes el uno del otro.

5.3.1. DOS MÓDULOS DEFECTUOSOS IDÉNTICOS.

La probabilidad de que dos módulos defectuosos, que están en una misma serie, sean idénticos es realmente baja, pero esta simulación permitirá comprender mejor otras situaciones más reales.

Se han creado cuatro generadores 10sx4p distintos, A, B,C y D, cuyos módulos son los mismos que forman los generadores del apartado anterior, salvo que en este caso uno de los módulos “perfectos” que compartía serie con el módulo defectuosos de dichos generadores a sido sustituido por otro módulo idéntico a el módulo defectuoso que contenía cada uno de ellos.

La Fig.5.4. muestra las curvas I-V de los módulos que forman cada uno de los generadores junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia.

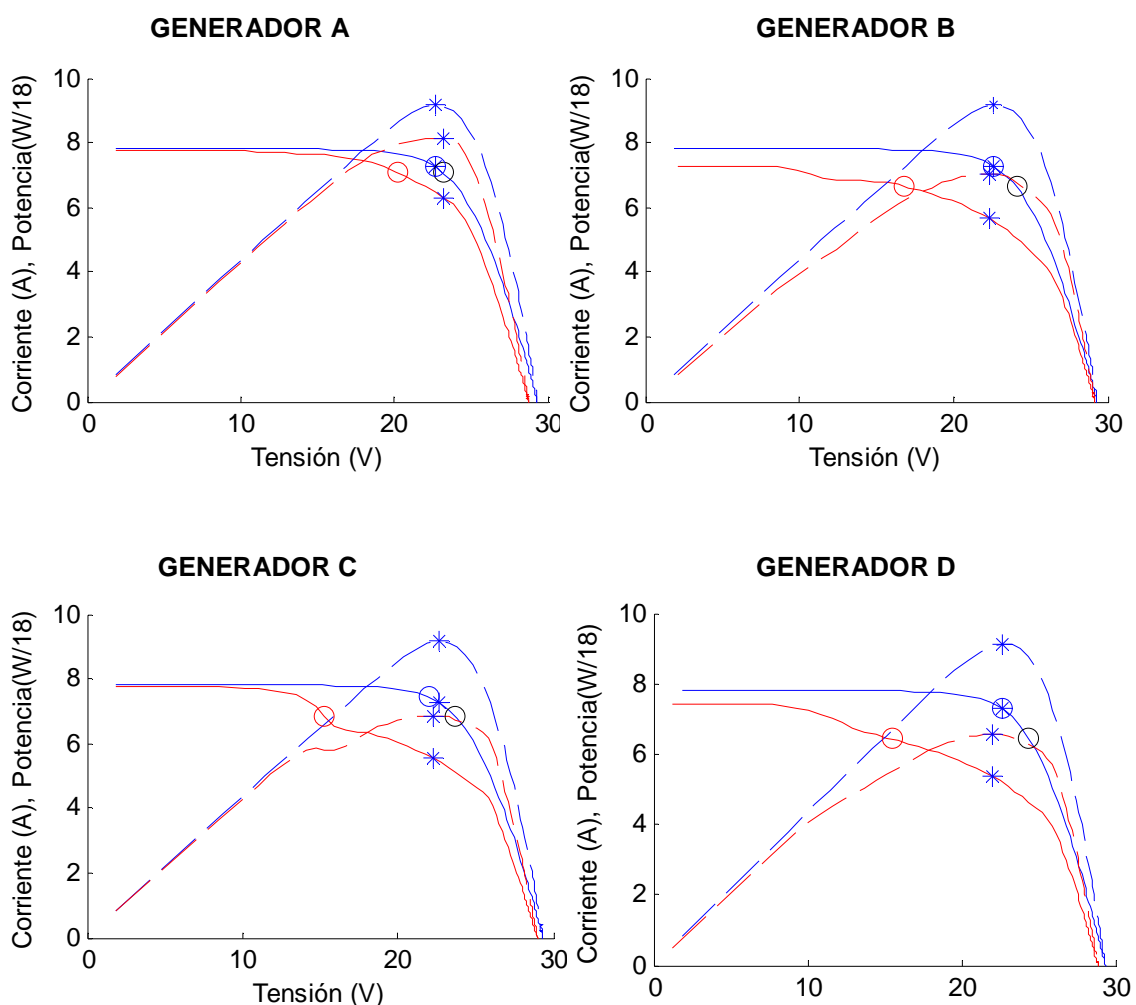
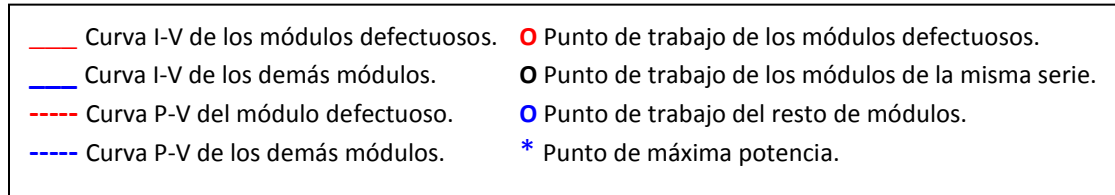


Fig. 5.4. Curvas I-V de los módulos de los cuatro generadores simulados.

Al igual que ocurre cuando se tiene un solo módulo defectuoso, se tiende a mantener la tensión de las series, en este caso mediante una importante modificación de la tensión de ambos módulos defectuosos. Lo que implica un mayor aumento de la tensión de los módulos que comparten serie con ellos. En particular la modificación necesaria de los módulos defectuosos del generador A es mucho menor que la de los del resto, tal y como se observaba en el apartado anterior.

En la Tabla 5.3. se muestran los valores de pérdidas por dispersión que este tipo de módulos ocasiona en los módulos con los que comparte generador y en ellos mismos. Y en la Tabla 5.4. las pérdidas por dispersión y totales de cada generador analizado.

Tabla. 5.3. Pérdidas por dispersión ocasionadas por los módulos defectuosos.

PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	Módulos defectuosos	Módulos misma serie	Resto de módulos
Generador A	2.02%	0,31%	0,00%
Generador B	8.98%	2.89%	0,00%
Generador C	10,59%	1.36%	0,61%
Generador D	11.28%	4.73%	0,00%

Tabla. 5.4. Pérdidas por dispersión y totales ocasionadas por el módulo defectuoso.

	Generadores	
	Pérdidas por dispersión.	Pérdidas Totales.
Generador A	0,18%	0,73%
Generador B	1,03%	2,19%
Generador C	1,31%	2,56%
Generador D	1,51%	2.92%

Las diferencias entre la magnitud de defecto del generador A y las del resto de generadores quedan de nuevo reflejadas en sus pérdidas. Si se vuelven a considerar por separado, se podría concluir que los módulos Yingli con un defecto “leve”, si se encuentran compartiendo serie en un generador 10sx4p, ocasionan un 0.20%, aproximadamente, de pérdidas por dispersión en el generador del que forman parte y un 0.70% de pérdidas totales. Mientras que si se trata de un defecto “importante”, las pérdidas por dispersión rondan el 1.40%, aproximadamente y las pérdidas totales el 2.80%. En concreto las pérdidas se han duplicado con respecto al caso de generadores con un solo módulo en solitario. En los módulos defectuosos estas pérdidas están en un 2% si el defecto es leve y en un 10%, aproximadamente, si el defecto es importante. En los módulos que comparten serie con ellos entre un 0.30 % en el primer caso y uno 3% en el segundo. Y por último las pérdidas por dispersión en el resto de módulos son prácticamente nulas en todos los casos.

La Fig.5.5. muestra gráficamente las pérdidas por dispersión en los módulos de cada uno de los generadores analizados. Y la Fig.5.6. las pérdidas por dispersión y totales en cada uno de los generadores. Dichas figuras permiten realizar una comparación visual y rápida de las pérdidas por dispersión.

- Módulos defectuosos de cada generador.
- Módulos de la misma serie que el defectuoso de cada generador.
- Resto de módulos de cada generador.

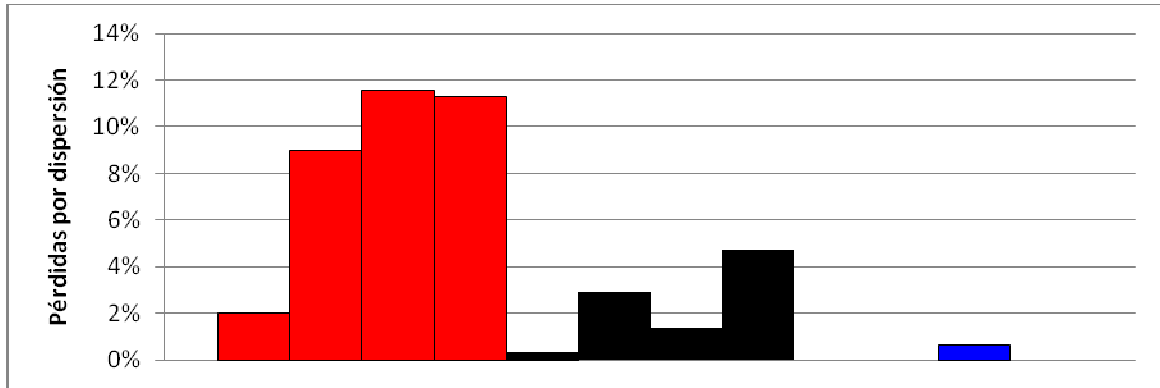


Fig. 5.5. Pérdidas por dispersión en los módulos de los cuatro generadores simulados.

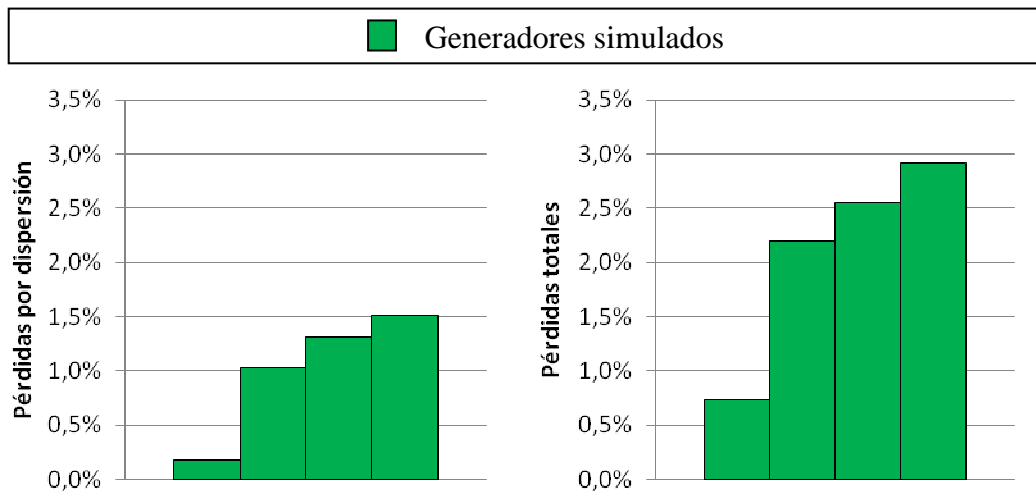


Fig. 5.6. Pérdidas por dispersión en los generadores simulados.

Los módulos defectuosos continúan siendo los que mayores pérdidas por dispersión tienen. Aunque, en concreto, para cada uno ellos, son menores que las que tenían en solitario.

Los módulos de la misma serie que los defectuosos aumentan sus pérdidas con respecto a las que tenían en el caso anterior, ya que su tensión tiene que aumentar hasta contrarrestar la suma de la pérdida de tensión de los dos módulos defectuosos y además tienen el agravante de contar con un módulo menos de este tipo. En cuanto a las pérdidas en el resto de módulos, se mantienen a valores muy cercanos a 0%, al igual que cuando solo hay un módulo defectuoso en el generador.

5.3.2. DOS MÓDULOS DEFEKTUOSOS DISTINTOS.

Ahora se tratará de analizar las pérdidas que dos módulos Yingli defectuosos distintos pueden provocar en un generador si ocupan la misma serie. Para ello se han simulado mediante Matlab varios generadores con todos sus módulos idénticos, considerados perfectos, y dos defectuosos diferentes entre sí colocados en la misma serie.

Cada uno de los generadores A, B, C y D de los apartados 5.2. y 5.3.1. contaban con un módulo defectuoso distinto (en el apartado 5.3.1. dicho módulo está dos veces en el generador). Así, el generador A cuenta con el módulo defectuoso A, el generador B con el módulo defectuoso B, etc.

Como ya se ha visto, el módulo defectuoso A tiene un defecto “leve”, mientras que el B, el C y el D cuentan con defectos más graves. Por ello, en el presente apartado se han creado generadores con todos sus módulos iguales excepto dos, que se encuentran en la misma serie, de dos tipos:

- Generadores con uno de sus módulos con un defecto leve (módulo defectuoso A).
- Generadores con sus dos módulos con un defecto grave (ninguno de ellos es el módulo defectuoso A).

Se han simulado 3 generadores del primer tipo A1, B1 y C1, y tres del segundo A2, B2 y C2, recomblando los módulos defectuosos utilizados en los apartados 5.2. y 5.3.1.

La Fig.5.7. muestra las curvas I-V de los módulos que forman cada uno de los generadores A1,B1 y C1 junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia.

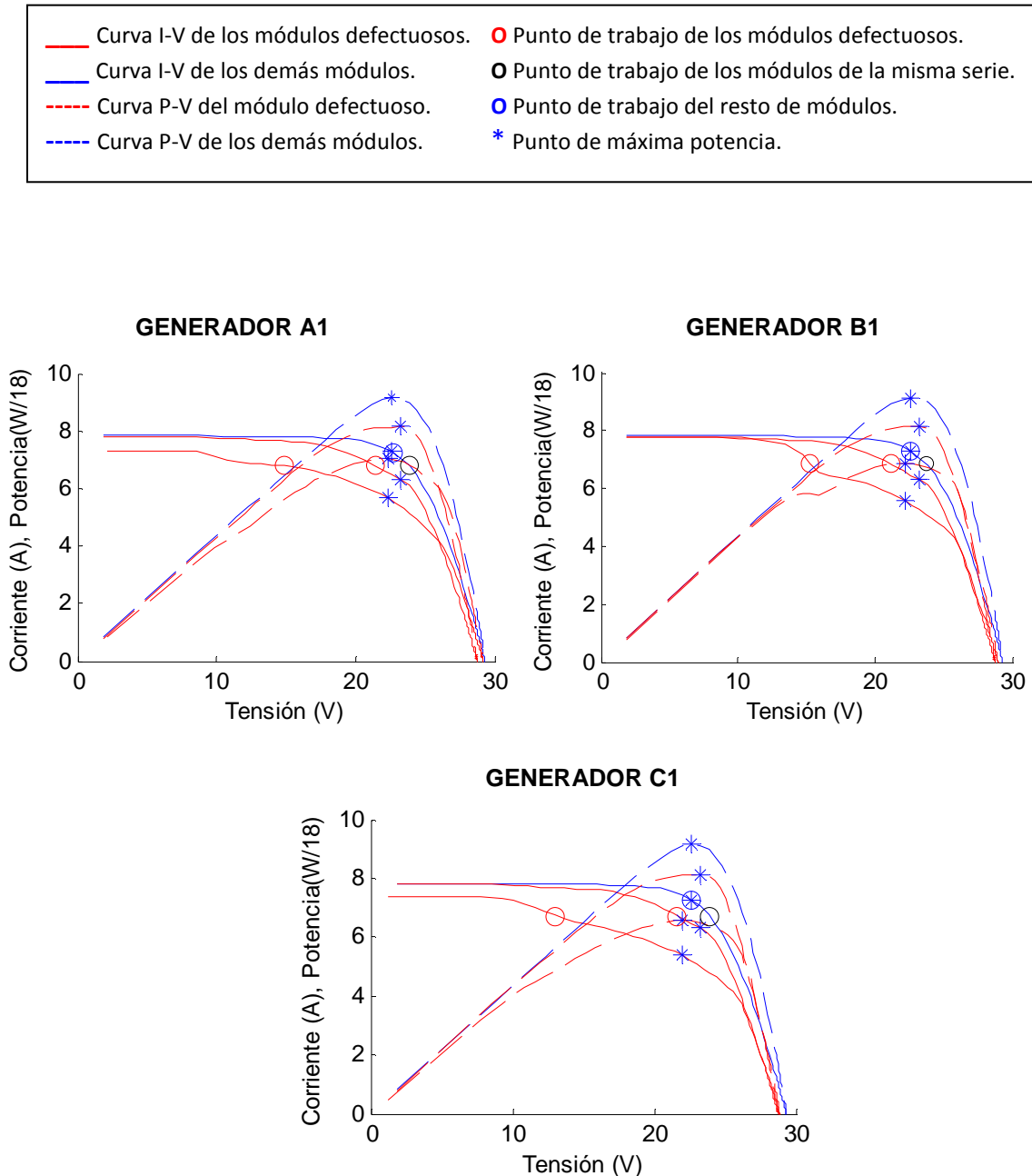


Fig. 5.7. Curvas I-V de los módulos de los tres generadores simulados con un módulo de defecto leve.

Se mantiene la tendencia a no varia la tensión de las series, y para ello, los módulos defectuosos disminuyen su tensión de trabajo y los de su serie la aumenta. Es el módulo defectuoso con mayor defecto quien mas debe modificar dicha tensión, mientras que el módulo defectuoso de defecto “leve” no sufre grandes cambios.

La Fig.5.8. muestra las curvas I-V de los módulos que forman cada uno de los generadores A2,B2 y C2 junto a sus puntos de trabajo y de máxima potencia.

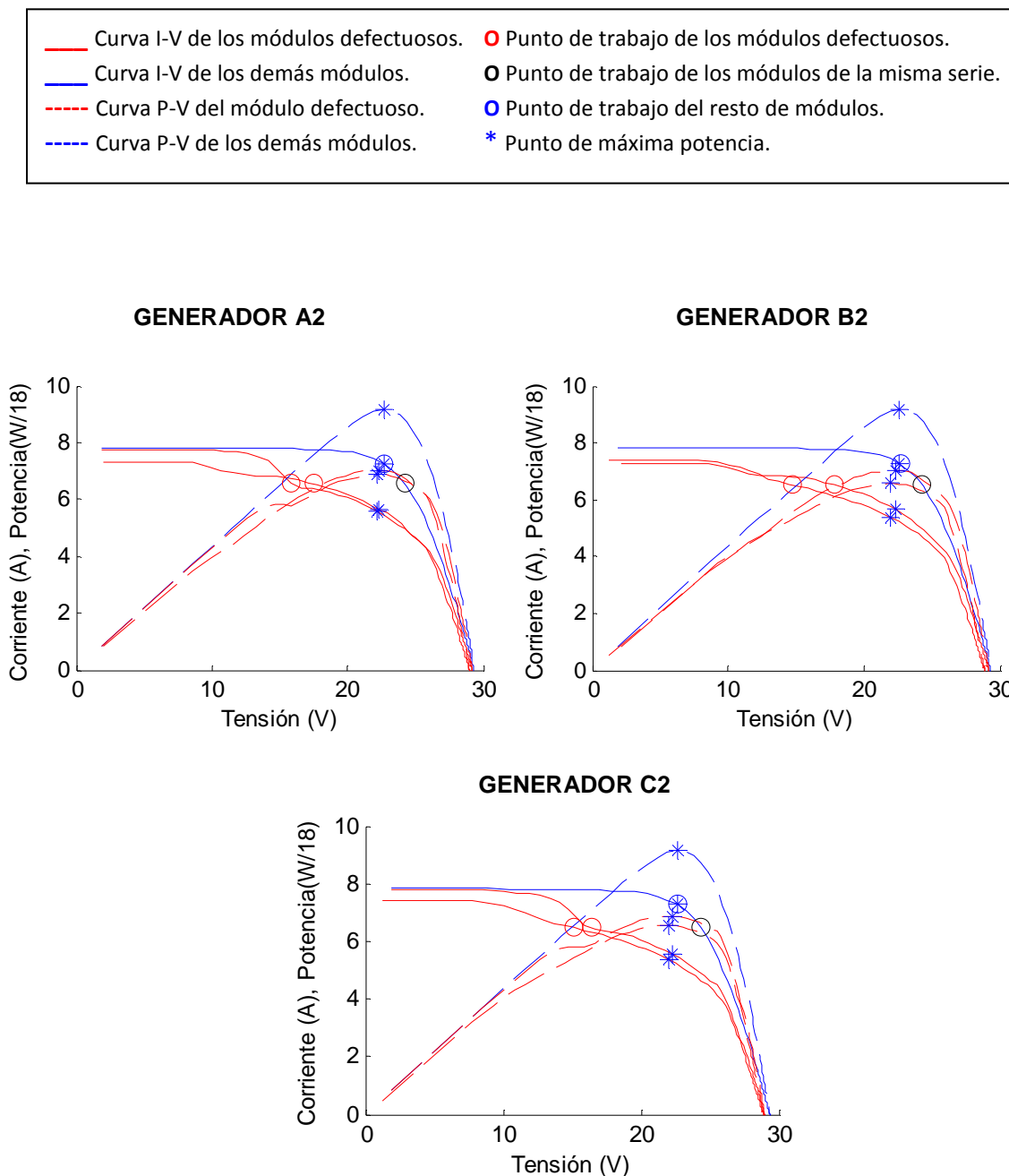


Fig. 5.8. Curvas I-V de los módulos de los tres generadores simulados sin módulo de defecto leve.

En este tipo de generadores los dos módulos defectuosos modifican considerablemente su tensión de trabajo para mantener la tensión de las series.

En la Tabla 5.5. se muestran los valores de pérdidas por dispersión que este tipo de módulos ocasiona en los módulos con los que comparte generador y en ellos mismos. Y la Tabla 5.6. las pérdidas de cada generador simulado.

Tabla. 5.5. Pérdidas por dispersión ocasionadas por los módulos defectuosos.

PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	Módulo defectuoso 1	Módulo defectuoso 2	Módulos misma serie	Resto de módulos
Generador A1	15.49%	0,68%	1,63%	0,02%
Generador B1	11,59%	0,86%	1,38%	0,00%
Generador C1	18.38%	0,50%	2,14%	0,00%
Generador A2	11,76%	7.06%	3,58%	0,03%
Generador B2	13.66%	6.21%	3.91%	0,02%
Generador C2	12.31%	10.82%	4,35%	0,00%

Tabla. 5.6. Pérdidas ocasionadas por los módulos defectuosos.

	Generadores	
	Pérdidas por dispersión.	Pérdidas Totales.
Generador A1	0,75%	1.60%
Generador B1	0,59%	1.48%
Generador C1	0.90%	1.88%
Generador A2	1.21%	2.41%
Generador B2	1.29%	2.58%
Generador C2	1.45%	2.78%

En el apartado anterior se determinó cómo la presencia de dos módulos Yingli defectuosos e idénticos en una misma serie perjudican seriamente a todos los módulos de la misma, en especial, a ellos mismos. Se vio que las pérdidas por dispersión ocasionadas dependían directamente de la magnitud del defecto de dichos módulos defectuosos.

Al tratarse de generadores con un módulo Yingli de defecto leve y otro de defecto grave, las pérdidas por dispersión son aproximadamente la mitad de las obtenidas en generadores con dos módulos Yingli con un defecto grave, pero de diferente magnitud. En el primer caso suponen un 0.75%, aproximadamente, y en el segundo un 1.30%.

No se parecía apenas diferencia entre tener dos módulos defectuosos con un defecto grave iguales entre sí, o diferentes debido a la similitud entre los módulos ensayados.

En los módulos defectuosos las pérdidas por dispersión están en un 15.15 % si se trata del de defecto más grave, y en un 0.65%, aproximadamente, si es el de defecto más leve. Y si ambos tienen defecto grave, sus pérdidas están en 10.30% para cada uno de ellos. En los módulos que comparten serie con ellos entre un 1.70% en el primer caso y uno 3.95% en el segundo. Y por último las pérdidas por dispersión en el resto de módulos son prácticamente nulas en todos los casos.

La Fig.5.9. muestra gráficamente las pérdidas por dispersión en los módulos de cada uno de los generadores analizados. Y la Fig.5.10. la de las pérdidas por dispersión en cada uno de los generadores. Dichas figuras permiten realizar una comparación visual y rápida de las pérdidas por dispersión.

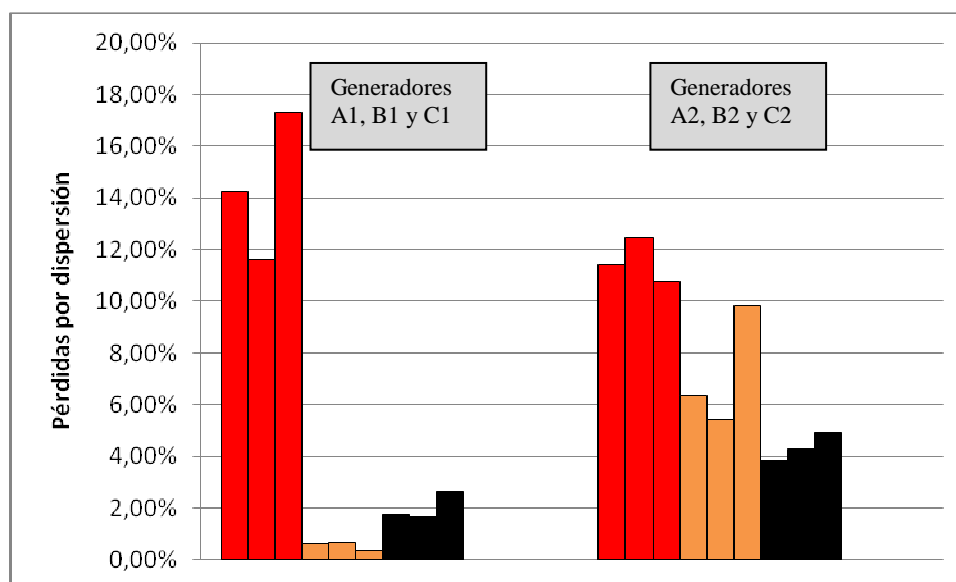
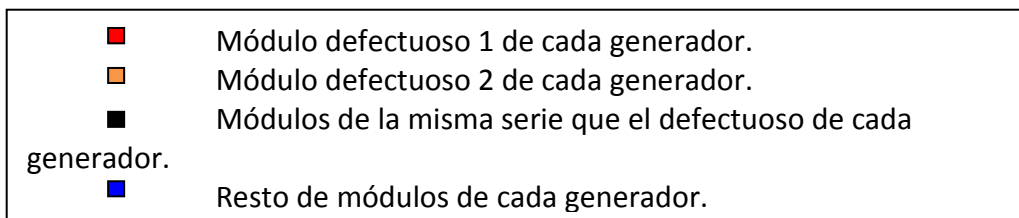


Fig. 5.9. Pérdidas por dispersión en los módulos de los generadores simulados.

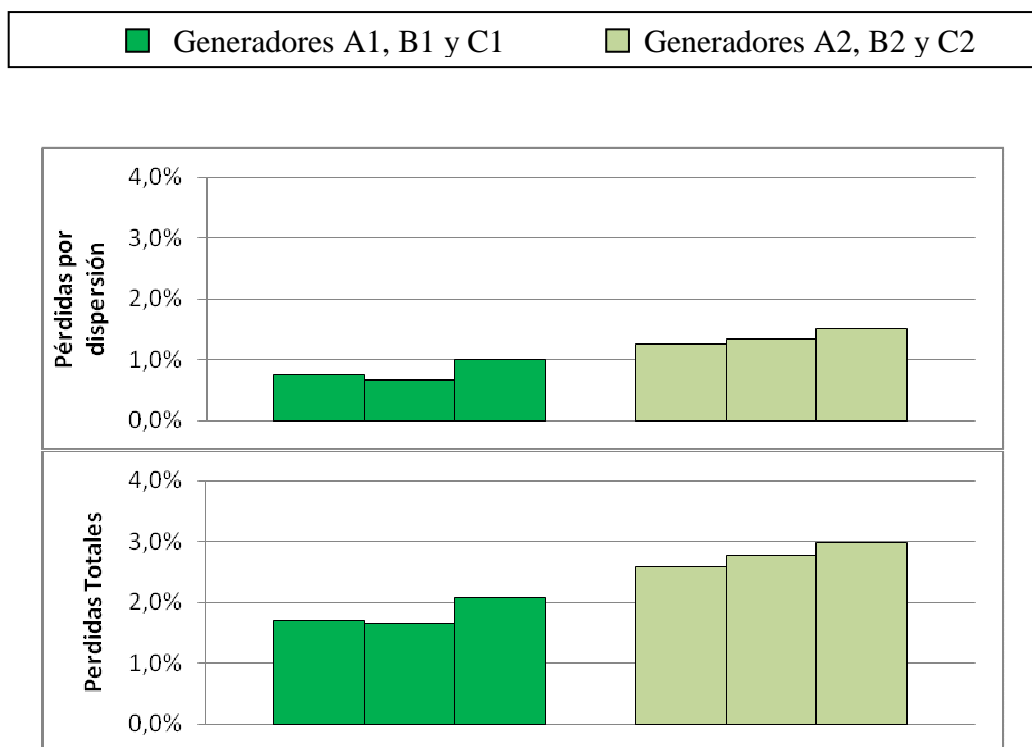


Fig. 5.10. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores simulados.

Los módulos defectuosos continúan siendo los que mayores pérdidas por dispersión tienen, en especial, el módulo defectuoso grave que comparte generador con el módulo defectuoso leve. Los módulos de la misma serie que los defectuosos tienen mayores pérdidas en los generadores A2, B2 y C2, que en A1, B1 y C1, ya que su tensión tiene que aumentar hasta contrarrestar la suma de la pérdida de tensión de los dos módulos defectuosos graves, y esta siempre será mayor que la de uno grave y una leve. En cuanto a las pérdidas en el resto de módulos, se mantienen a valores muy cercanos a 0%, al igual que cuando solo hay un módulo defectuoso en el generador y cuando hay dos módulos defectuosos idénticos.

5.4. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN GENERADORES YINGLI 10sx4p EN FUNCIÓN DEL Nº DE STRINGS ESTROPEADOS.

Dado que todos los “strings” de cada módulo están conectados en serie, al igual que los módulos de una serie, se puede hablar del nº de “strings” deteriorados en cada serie, independientemente del módulo al que pertenezca cada uno.

Las pérdidas en un generador Yingli dependerán del nº de “strings” deteriorados, de la distribución de los mismos en las series del generador y de la magnitud de su defecto. Un “string” bajo en corriente contiene parte de sus células o todas ellas deterioradas. En la mayoría de los casos alguna de ellas trabaja en la parte inversa de su curva I-V, es decir, absorbe potencia. Cuanto mayor es la magnitud de defecto en las células mayores pérdidas se causan, pero hasta un límite. A partir de una cierta magnitud de defecto el diodo de paso del “string” se pone en funcionamiento y estas células quedan cortocircuitadas. Si su defecto aumenta no influye en las pérdidas.

Se han estudiado los 20 generadores con más baja producción de la huerta solar de ACCIONA en Milagro, formada por módulos Yingli. Son generadores 10sx4p con una media de 6 módulos defectuosos por generador, y 1 por serie.

La tabla 5.7. muestra las diferentes distribuciones de “strings” deteriorados entre las series de los generadores analizados.

Tabla. 5.6. Nº de “string” estropeados en cada serie de los generadores.

Nº de generador	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Nº total de “strings” deteriorados
1	2	2	1	1	6
2	0	3	3	1	7
3	0	2	2	2	6
4	1	2	0	2	5
5	1	1	1	2	5
6	2	1	0	3	6
7	1	2	4	0	7
8	3	2	1	1	7
9	3	0	2	2	7

Si se agrupan en función del nº total de “strings” deteriorados en el generador se tiene:

- 5 “strings” deteriorados: Generador 4 y 5.
- 6 “strings” deteriorados: Generador 1, 3 y 6.
- 7 “strings” deteriorados: Generador 2, 7, 8 y 9.

La Fig. 5.11. muestra las pérdidas por dispersión y totales de cada uno de los generadores separados por grupos en función del nº de “strings” deteriorados en cada uno de ellos.

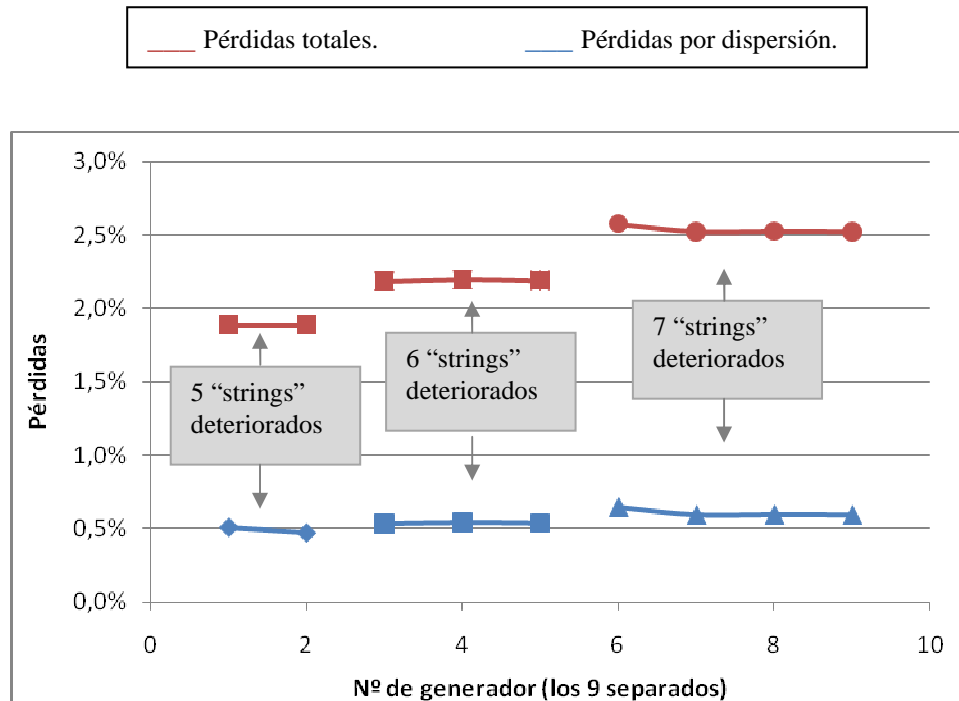


Fig. 5.11. Pérdidas por dispersión y totales en los generadores agrupados por nº de “strings” defectuosos en total.

El nº de “strings” deteriorados de un generador Yingli 10sx4p puede servir de indicativo para predecir un valor aproximado de las pérdidas de este. La diferencia de pérdidas entre dos generadores con el mismo nº de “strings” defectuosos está determinada por la distribución de estos en las series.

Así, un generador con 5 “strings” deteriorados tendrá aproximadamente un 0.5% de la potencia nominal del generador de pérdidas por dispersión y un 1.90% de pérdidas totales. Un generador con 6 “strings” deteriorados, un 0.55% de pérdidas por dispersión y un 2.20% de totales. Y un generador con 7 “strings” deteriorados, un 0.60% y un 2.55% de pérdidas totales.

Las diferencias de pérdidas que se provocan debido a la variación de la distribución de los “strings” en las series del generador, como se ha visto, no son muy elevadas. La máxima diferencia de pérdidas que se ha dado, debido a este motivo, entre los generadores de la muestra es del 0.05% de su potencia nominal. Lo cual puede deberse a las pocas diferencias de dispersión que hay entre ellos, o a que realmente la influencia de dicha dispersión no provoque una influencia notable.

Para hacerse una idea de cómo pueden variar las pérdidas por dispersión entre generadores con un mismo nº de “strings” deteriorados pero distribuidos de diferente manera en las series de los mismos, se han simulado dos casos extremos: con todos los “strings” deteriorados en una misma serie y con todos ellos distribuidos al máximo

entre ellas. Se han analizado dichos extremos para generadores de diferente nº de “strings” estropeados en total.

La Fig.5.12. muestra las curvas I-V de los “stings” de dos generadores 10sx4p. Cada uno de ellos está formado por 120 “strings”, es decir 40 módulos de 3 “strings”, de los cuales todos son iguales excepto 4, que están bajos en corriente. La distribución de estos 4 “string” en las series de los generadores es lo que los diferencia. En uno de ellos están todos agrupados en una misma serie, y en el otro hay uno en cada serie.

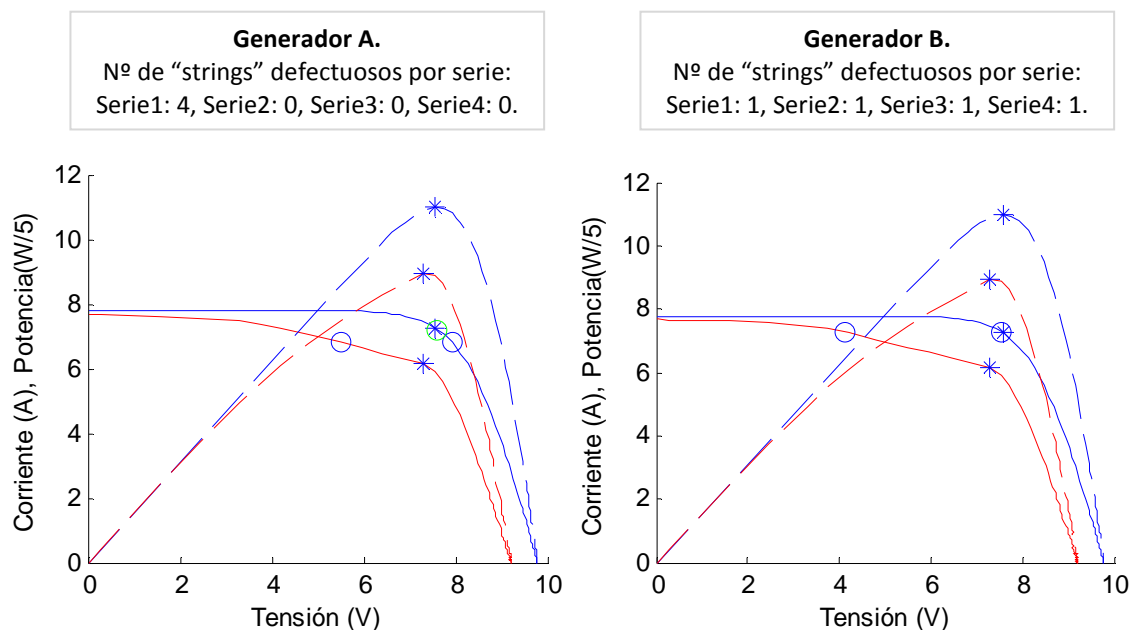
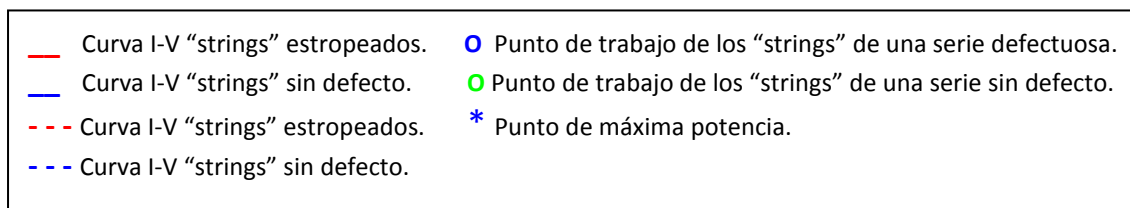


Fig. 5.12. Curvas I-V y P-V de los “strings” de dos generadores con distinta distribución de “strings” defectuosos.

El generador A consta de tres series “perfectas” y una con 4 “strings” deteriorados. En la Fig.5.12. se aprecia claramente como la prioridad es mantener la tensión de las series. Para conseguirlo sin variar mucho la corriente de la serie defectuosa, con el fin de no perjudicar demasiado a los “strings sanos” de dicha serie, los “strings” defectuosos se bajan mucho en tensión. Luego la mayor parte de las pérdidas que estos provocan provienen de sí mismos.

En cambio, el generador B consta de cuatro series iguales, cada una de ellas con un solo “string” defectuoso. En este caso prevalece el mantenimiento de la corriente de las series para que los “strings sanos” puedan trabajar lo más cerca posible de su PMP. La variación de tensión necesaria para conseguirlo en cada una de las series será la misma, y por tanto es preferible que los “strings” deteriorados bajen mucho en tensión si así permiten al resto trabajar a la corriente deseada.

Las pérdidas por dispersión y totales del generador A son menores que las del generador B. En general, cuanto más agrupados estén los “strings” en las series, menores son las pérdidas por dispersión, aunque como ya hemos visto la distribución de los “strings” en las series provoca variaciones de pérdidas pequeñas. Por ejemplo, entre los dos generadores analizados la diferencia de pérdidas por dispersión es de 0.05%.

A continuación se muestra la tabla.5.7. donde se recogen las pérdidas por dispersión y totales de varios generadores con diferente nº de “strings” defectuosos dispersos de formas diferentes entre las series de los mismos.

Tabla. 5.7. Pérdidas por dispersión y totales en diferentes generadores.

Nº de “strings” deteriorados en cada serie					PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	PÉRDIDAS TOTALES
Ser1	Ser2	Ser3	Ser4	TOTAL		
4	0	0	0	4	0,37%	1,48%
3	1	0	0	4	0,40%	1,50%
2	2	0	0	4	0,41%	1,52%
1	1	1	1	4	0,42%	1,52%
5	0	0	0	5	0,30%	1,67%
4	1	0	0	5	0,39%	1,77%
3	2	0	0	5	0,43%	1,80%
2	1	1	1	5	0,47%	1,85%
6	0	0	0	6	0,30%	1,95%
5	1	0	0	6	0,41%	2,06%
3	3	0	0	6	0,47%	2,12%
2	2	1	1	6	0,53%	2,18%
7	0	0	0	7	0,27%	2,20%
6	1	0	0	7	0,51%	2,43%
4	3	0	0	7	0,52%	2,44%
2	2	2	1	7	0,59%	2,52%

En la tabla 5.7. queda de manifiesto lo razonado anteriormente; las pérdidas por dispersión y totales de un generador son mayores cuantos más “strings” deteriorados tenga y cuanto menos agrupados estén en sus series.

Se puede distinguir el caso de generadores con todos sus “strings” deteriorados agrupados en una misma serie como un caso particular. De los 20 generadores Yingli de la muestra inicial, ninguno presenta dicha distribución, por lo cual se puede concluir que es una situación muy poco probable. En ellos, las pérdidas por dispersión son menores cuantos más “strings” deteriorados hay, aunque como es lógico las pérdidas totales sí que aumentan, al igual que para el resto de distribuciones.

La Fig.5.13. muestra gráficamente los resultados recogidos en la tabla 5.7.

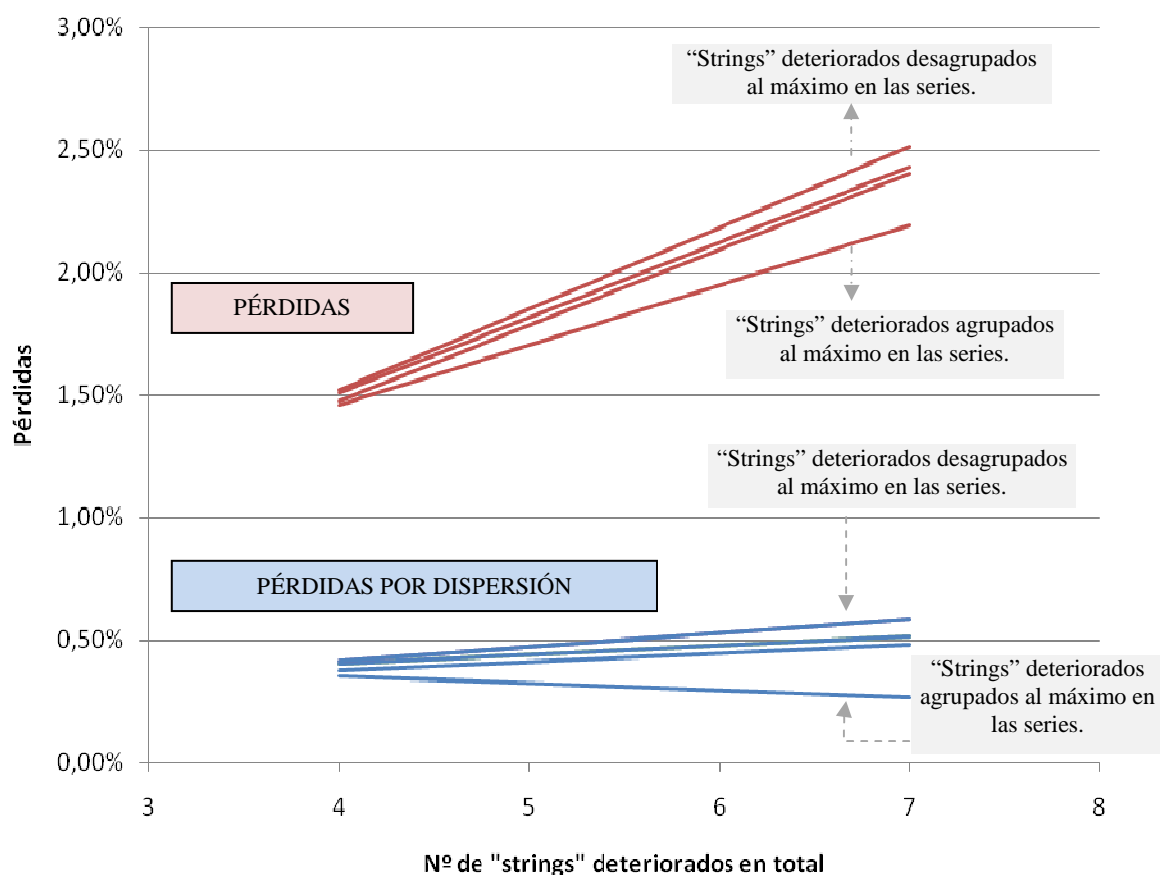


Fig. 5.13. Pérdidas por dispersión y totales para diferente en función del nº de “strings” deteriorados para diferentes agrupaciones.

Las pendientes de todas las rectas de ambos tipos de pérdidas son similares, lo que indica que para cualquier nivel de agrupación de los “strings” deteriorados en las series, el incremento de las pérdidas al aumentar el nº de “strings” estropeados permanece prácticamente constante en todos los casos, aproximadamente un 0.3% más de pérdidas totales por cada “string” deteriorado y un 0.04% más de pérdidas por dispersión.

6. CONCLUSIONES.

6.1. SOBRE LA INFLUENCIA DE UN MÓDULO DEFECTUOSO.

Los módulos que poseen un tipo de defecto que influye en los valores de corriente de su curva I-V, como son; una baja corriente de cortocircuito y una baja corriente en alguno de sus “strings”, son los que mayores pérdidas ocasionan. Se tiende a provocar la mínima variación de la tensión de las series “sanas”, mediante la modificación de la corriente de la serie defectuosa, lo cual lleva a incrementar la dispersión del propio módulo defectuoso.

Los módulos con defecto en tensión ocasionan menores pérdidas que los módulos con defecto en corriente. También se tienden a mantener la tensión de las series del generador del que forman parte, pero debido a las características de sus curvas I-V la variación de corriente en la serie defectuosa necesaria no supone grandes pérdidas.

Un módulo con una potencia CEM baja concreta influye de diferente manera en el resto de módulos con lo que comparte generador en función del tipo de defecto que le provoque dicha pérdida de potencia CEM. Por ejemplo un módulo con una potencia CEM un 28% menor de la nominal provoca:

- Si tienen una R_s alta:
 - Pérdidas por dispersión: 0.06%.
 - Pérdidas totales: 0.85%
- Pérdidas por dispersión si tienen una V_{oc} baja.
 - Pérdidas por dispersión: 0.08%.
 - Pérdidas totales: 0.85%
- Pérdidas por dispersión si tienen alguno de sus “strings” bajos en corriente.
 - Pérdidas por dispersión: 0.97%.
 - Pérdidas totales: 1.80%
- Pérdidas por dispersión si tienen todos sus “strings” bajos en corriente.
 - Pérdidas por dispersión: 4.54%.
 - Pérdidas totales: 5.34%

6.2.SOBRE LA INFLUENCIA DEL Nº DE MÓDULOS EN SERIE Y Nº DE SERIES.

La influencia de un módulo defectuoso en un generador, independientemente del tipo de defecto o magnitud del mismo, es menor cuanto mayor es el nº de módulos en serie y series. Al contrario de lo que se podía suponer, al contar con más módulos en el generador, las pérdidas que este genera cada vez son más insignificantes, ya que en la mayoría de los casos, dichas pérdidas provienen del propio módulo defectuoso y cada vez los módulos que comparten serie con él y el resto sufren menos alteraciones.

Un módulo con una potencia CEM un 28% menor que la nominal a causa de un defecto en tensión (por ejemplo baja Voc.) provoca unas pérdidas en un generador 4sx4p de:

- Pérdidas dispersión: 0.91%.
- Pérdidas totales: 2.71%.

Si el generador es 12sx4p:

- Pérdidas dispersión: 0.03%
- Pérdidas totales: 0.63%

Si el generador es 4sx12p:

- Pérdidas dispersión: 0.30%
- Pérdidas totales: 0.90%.

Y un módulo con una potencia CEM un 28% menor que la nominal a causa de un defecto en corriente (por ejemplo alguno de sus "strings" bajo en corriente) provoca unas pérdidas en un generador 4sx4p de:

- Pérdidas dispersión: 1.79%.
- Pérdidas totales: 3.66%.

Si el generador es 12sx4p:

- Pérdidas dispersión: 0.57%
- Pérdidas totales: 1.20%

Si el generador es 4sx12p:

- Pérdidas dispersión: 0.60%
- Pérdidas totales: 1.22%.

6.3. SOBRE LA APARICIÓN DE MÁS DE UN MÁXIMO EN LA CURVA P-V DEL GENERADOR.

Es un fenómeno poco frecuente, que se produce ante la presencia de un módulo con una gran magnitud de defecto en un generador con un número reducido de módulos en serie y series. En general, los defectos más propensos a generar la aparición de más de un máximo en la curva P-V del generador son una baja I_{sc} y, en menor medida, una baja V_{oc} .

Este fenómeno hace que la presencia de un módulo defectuoso pueda causar pérdidas mucho más elevadas que las propias a causa de su defecto, hasta un 36% más de la potencia nominal o más.

6.4. SOBRE LA INTRODUCCIÓN DE CABLEADOS INTERMEDIOS.

La introducción de cableados intermedios facilita el paso de la corriente por los módulos del generador a través de diferentes caminos. Como consecuencia, los generadores con módulos defectuosos en corriente se ven beneficiados al aplicar dichas conexiones. Mientras que los generadores con módulos defectuosos en tensión no ven reducidas sus pérdidas, e incluso puede que la aplicación de estas conexiones las incremente.

Pese a que la influencia de las conexiones intermedias depende del generador al que se aplican, en general, provocan disminuciones de las pérdidas para cualquier generador con cualquier configuración. Cuantos menos caminos se abren a la corriente, es decir, cuantas menos uniones se añaden, menos se consigue disminuir las pérdidas. Además, en general, cuanto mayor es el número de módulos del generador menos influye la aplicación de dichas conexiones intermedias.

Al aplicar conexiones intermedias en generadores reales no se esperan disminuciones de pérdidas mayores del 1%, ni aumentos (en los casos en que resulta desfavorable) mayores del 0.3%.

6.5. SOBRE MÓDULOS YINGLI DEFECTUOSOS.

Son módulos con “strings” bajos en corriente, y como tales se caracterizan por causar pérdidas relativamente elevadas, aunque siempre dependiendo de la magnitud del defecto. La mayoría de dichas pérdidas provienen de los propios “strings” deteriorados.

El nº de “strings” estropeados de un generador Yingli 10sx4p puede servir de indicativo para predecir un valor aproximado de las pérdidas de este. La diferencia de pérdidas entre dos generadores con el mismo nº de “strings” defectuosos está determinada por la magnitud de defecto de los mismos y su distribución en las series.

Por lo general, en un “string” deteriorado algunas de sus células trabajan en la parte inversa de su curva I-V, y por tanto absorben potencia. Cuanto mayor es la magnitud de defecto en las células y más cantidad de ellas están deterioradas más probabilidades hay de que el diodo de paso del “string” entre en funcionamiento. A partir de un cierto grado de defecto dicho diodo entra en funcionamiento, luego las pérdidas aumentan en función de la magnitud del defecto hasta una cierta magnitud.

Prácticamente, para cualquier nivel de agrupación de los “strings” deteriorados en las series, por cada “string” deteriorado las pérdidas por dispersión en el generador aumentan aproximadamente un 0.04% las totales un 0.3%.

7. LINEAS FUTURAS.

Este estudio se ha realizado de forma teórica para algunos generadores cuyos datos han sido medidos en Huertas Solares, y otros cuyos datos han sido creados artificialmente. Sería interesante realizar ensayos en generadores reales. De este módulo se podría ver si los resultados obtenidos se repiten, o por el contrario, si en algún caso difieren.

Sería aconsejable aplicar las conexiones intermedias analizadas sobre generadores reales con diferente grado de dispersión en sus módulos para ver si los resultados coinciden, y tratar de establecer una relación clara entre la dispersión del generador y las ganancias que se esperan al aplicar las diferentes conexiones intermedias.

En este proyecto se ha tratado afondo la influencia de diferentes tipos de defecto en diferentes generadores. Sería necesario realizar un estudio sobre la probabilidad de encontrar dichos módulos defectuosos, para poder ver la relevancia verdadera de las pérdidas que ellos provocan.

En lo referente a condiciones de trabajo de sistemas fotovoltaicos, el análisis llevado a cabo en el PFC [MUÑ 09] permitió comprobar que la diferencia de temperaturas en un módulo fotovoltaico es de varios °C. Sabiendo que por cada °C varia la potencia un 0,5% aprox., sería interesante modelizar la distribución de temperaturas en sistemas fotovoltaicos. De esta manera, se obtendría mayor precisión en la medida además de un conocimiento profundo de las condiciones en las que trabajan dichos sistemas.

El modelizar este efecto podría llevar al inversor a obligar al fabricante a garantizar ciertos límites de temperaturas haciéndolos más fiables y eficientes.

En lo que se refiere al mantenimiento, sería de utilidad seguir estudiando la evolución de la potencia CEM de generadores fotovoltaico para marcar un límite de detección de módulos fuera de garantía. De esta forma, simplemente con los valores de producción se podrían detectar módulos defectuosos o que han envejecido rápidamente.

8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA.

EDUARDO LORENZO. ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICA VOL.2: RADIACIÓN SOLAR Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS.

Ed. ProgenSA, diciembre, 2006

CIEMAT. (Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). FUNDAMENTOS, DIMENSIONADO Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Ed. Ciemat, Madrid, 2000, ISBN 84-7834-371-7

RERFERENCIAS.

- **[MUÑ 09] MIKEL MUÑOZ ESCRIBANO** ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE POTENCIA *CEM* ENTRE GENERADORES DE CENTRALES FOTOVOLTAICAS. Proyecto final de carrera de 2009.
- **[GAR 08] MIGUEL GARCÍA SOLANO** DISEÑO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CENTRALES FOTOVOLTAICAS. Tesis doctoral de 2008.

FUNCIONES *MATLAB*:

Algunas que de Mikel que se utilizan:

1. CrearD.
2. curvalVnmodulos
calculoseguidor2
calculoseguidorju
fVIdemodulos
dfVIdenmodulos
extrapola2ju
medidas2STCju
paralelo2stringsju
paraleloNPstringsju
serie2stringsju
serieNSstringsju

Estudio influencia del tipo y magnitud del defecto y en función de configuración del generador:

3. Generadores_9sx4p_def
4. Generadores_variosModenserie_def
5. Generadores_variasSeries_def
6. Generadores_variosModenserie_distintosMuestras
7. Generadores_variasSeries_distintosMuestras

Estudio influencia del tipo y magnitud del defecto en función de configuración del generador y conexión intermedia aplicada:

8. Paralelo_2_modulos_def
9. Paralelo_N_modulos_def
10. Paralelo_2_modulos_distintosMuestras
11. Paralelo_N_modulos_distintosMuestras
12. Red_distintosMuestras
13. RedPorParejas_distintosMuestras
14. Paralelo_2_modulos_distintosReales
15. Paralelo_N_modulos_distintosReales
16. Red__distintosReales
17. RedPorParejas_distintosReales'

Estudio módulos Yingli:

18. Yingli_1defectuoso10sx4p
 19. Yingli_2defectuososIgualesMismaSerie10sx4p
 20. Yingli_2defectuososDistintosMismaSerie10sx4p
 21. Yingli_VariosDefSeries10sx4p
 22. Yingli_Strings10sx4p
-

1. crearD

Crea una variable en Matlab que contiene la dirección de una carpeta Excel. Dicha variable será utilizada en otras funciones.

ANTES DE UTILIZAR LA FUNCION: hay que saber donde se encuentra el archivo Excel del que se desea obtener los datos. Se recomienda crear una carpeta ("Para Matlab") donde se encuentran todas las subcarpetas que contienen los archivos a utilizar.

DESPUES DE UTILIZAR LA FUNCION: se recomienda guardar la variable creada en una carpeta "Datos Matlab" junto con todas las variables que se vayan creando para poder acceder a ellas fácilmente desde otras funciones.

2. curvaIVnmodulos

Sirve para crear los módulos mediante muestras aleatorias (la creó Mikel Muñoz).

3. Generadores_9sx4p_def

Simula generadores 9sx4p con todos sus módulos iguales excepto uno defectuoso.

Dibuja las curvas I-V y P-V, el PMP y el punto de trabajo de los módulos que forman un generador 9sx4p compuesto por todos los módulos iguales excepto uno (el defectuoso).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) del generador simulado, de su módulo defectuoso, de los módulos que comparte serie con él y del resto de módulos del generador:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.

- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

4. Generadores_variosModenserie_def

Simula generadores de diferentes configuraciones, todas con 4 series y diferente nº de módulos en serie. Son generadores con todos sus módulos iguales excepto uno defectuoso.

Dibuja las curvas I-V y P-V, el PMP y el punto de trabajo de los módulos que forman varios generadores de diferente nº de módulos en serie, compuestos por todos los módulos iguales excepto uno (el defectuoso).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) cada uno de los generadores simulados, de su módulo defectuoso, de los módulos que comparte serie con él y del resto de módulos de cada generador:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

5. Generadores_variasSeries_def

Simula generadores de diferentes configuraciones, todas con 4 módulos en cada serie y diferente nº series. Son generadores con todos sus módulos iguales excepto uno defectuoso.

Dibuja las curvas I-V y P-V, el PMP y el punto de trabajo de los módulos que forman varios generadores de diferente nº de series, compuestos por todos los módulos iguales excepto uno (el defectuoso).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados, de su módulo defectuoso, de los módulos que comparte serie con él y del resto de módulos de cada generador:

- Pot. nominal.

- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

6. Generadores_variosModenserie_distintos

Simula generadores de deferentes configuraciones, todas con 4 series y deferente nº de módulos en serie. Son generadores con todos sus módulos diferentes entre sí (en realidad generalmente hay 36 diferentes y están repetidos).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados, y de varios de sus módulos:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

Además puede dibujar las curvas los módulos que los forman los generadores, los PMP, y los puntos de trabajo de algunos módulos.

7. Generadores_variasSeries_distintos

Simula generadores de deferentes configuraciones, todas con 4 módulos en cada serie y deferente nº series. Son generadores con todos sus módulos diferentes entre sí (en realidad generalmente hay 36 diferentes y están repetidos).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados, y de varios de sus módulos:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.

- Pérdidas totales.

Además puede dibujar las curvas los módulos que los forman los generadores, los PMP, y los puntos de trabajo de algunos módulos.

8. Paralelo_2_modulos_def

Simula generadores de deferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “paralelo de 2 módulos”. Son generadores con todos sus módulos iguales excepto uno defectuoso. Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “paralelo de 2 módulos” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

También dibuja las curvas I-V y P-V de los módulos para varias configuraciones con los PMP y de trabajo para cada uno de los tipos de módulos que los forman. Y escribe en Excel los datos.

9. Paralelo_N_modulos_def

Simula generadores de deferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “paralelo de N módulos”. Son generadores con todos sus módulos iguales excepto uno defectuoso. Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “paralelo de N módulos” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

10.Paralelo_2_modulos_distintosMuestras

Simula generadores de deferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “paralelo de 2 módulos”. Son generadores con todos sus módulos distintos (muestras creadas aleatoriamente). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “paralelo de 2 módulos” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

11. Paralelo_N_modulos_distintosMuestras

Simula generadores de diferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “paralelo de N módulos”. Son generadores con todos sus módulos distintos (muestras creadas aleatoriamente). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “paralelo de N módulos” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

12.Red_distintosMuestras

Simula generadores de diferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “Red”. Son generadores con todos sus módulos distintos (muestras creadas aleatoriamente). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “Red” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

13.RedPorParejas_distintosMuestras

Simula generadores de diferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “Red por parejas”. Son generadores con todos sus módulos distintos (muestras creadas aleatoriamente). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “Red por parejas” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

14. Paralelo_2_modulos_distintosReales

Simula generadores de diferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “paralelo de 2 módulos”. Son generadores con todos sus módulos distintos (creados mediante muestras de generadores reales). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “paralelo de 2 módulos” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

15. Paralelo_N_modulos_distintosReales

Simula generadores de diferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “paralelo de N módulos”. Son generadores con todos sus módulos

distintos (creados mediante muestras de generadores reales). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “paralelo de N módulos” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

16. Red_distintosReales

Simula generadores de diferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “Red”. Son generadores con todos sus módulos distintos (creados mediante muestras de generadores reales). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “Red” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

17. RedPorParejas_distintosReales

Simula generadores de diferentes configuraciones a los que se le ha aplicado la conexión intermedia “Red por parejas”. Son generadores con todos sus módulos distintos (creados mediante muestras de generadores reales). Dibuja gráficos de las pérdidas por dispersión y totales (en Vp.u.) en función de la configuración en generadores con la conexión “Red por parejas” y en generadores sin ella. Además dibuja la diferencia de pérdidas entre ellos.

18. Yingli_1defectuoso10sx4p

Simula un generador 10sx4p con todos sus módulos iguales excepto uno defectuoso (dirigido a análisis de módulos Yingli).

Dibuja la curva I-V y P-V del módulo defectuoso y de uno sano, con sus PMP y los puntos de trabajo de cada tipo de módulo (módulo defectuoso, módulos de la misma serie que el defectuoso y resto de módulos).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados, de su módulo defectuoso, de los módulos que comparte serie con él y del resto de módulos de cada generador:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

19. Yingli_2defectuososIgualesMismaSerie10sx4p

Simula un generador 10sx4p con todos sus módulos iguales excepto dos defectuosos iguales que están en una misma serie (dirigido a análisis de módulos Yingli).

Dibuja la curva I-V y P-V de los módulos defectuosos y de uno sano, con sus PMP y los puntos de trabajo de cada tipo de módulo (módulo defectuoso, módulos de la misma serie que el defectuoso y resto de módulos).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados, de los módulos defectuosos, de los módulos que comparte serie con ellos y del resto de módulos de cada generador:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

20. Yingli_2defectuososDifeentesMismaSerie10sx4p

Simula un generador 10sx4p con todos sus módulos iguales excepto dos defectuosos diferentes que están en una misma serie (dirigido a análisis de módulos Yingli).

Dibuja la curva I-V y P-V de los módulos defectuosos y de uno sano, con sus PMP y los puntos de trabajo de cada tipo de módulo (módulo defectuoso, módulos de la misma serie que el defectuoso y resto de módulos).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados, de los módulos defectuosos, de los módulos que comparte serie con ellos y del resto de módulos de cada generador:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

21. Yingli_VariosDefSeries10sx4p

Simula un generador 10sx4p con todos sus módulos iguales excepto algunos defectuosos iguales entre sí que están dispersos en las series (dirigido a análisis de módulos Yingli).

Dibuja la curva I-V y P-V de los módulos defectuosos y de uno sano, con sus PMP y los puntos de trabajo de cada tipo de módulo (los módulos de cada serie tienen un color diferente).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

22.Yingli_Strings10sx4p

Simula un generador 10sx4p con todos sus módulos iguales excepto algunos defectuosos iguales entre sí que están dispersos en las series (dirigido a análisis de módulos Yingli).

Dibuja la curva I-V y P-V de los strings defectuosos y de uno sano, con sus PMP y los puntos de trabajo de cada tipo de string (los módulos de cada serie tienen un color diferente).

Escribe en una hoja Excel los siguientes valores (en Vp.u.) de cada uno de los generadores simulados y si se quiere también de los strings de cada serie:

- Pot. nominal.
- Suma de pot. máximas contando con el módulo defectuoso.
- Pot. de trabajo.
- Pérdidas por dispersión.
- Pérdidas totales.

ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE POTENCIA CEM ENTRE GENERADORES DE CENTRALES FOTOVOLTAICAS

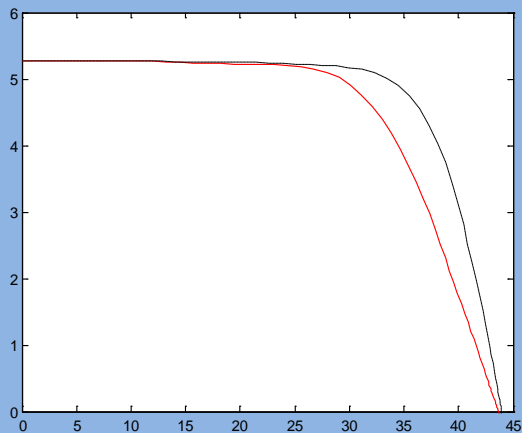
II PARTE

PARTES DEL PFC:

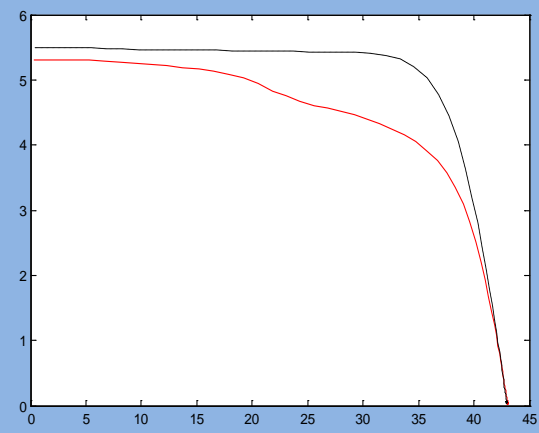
- **INFLUENCIA DE UN MÓDULO DEFECTUOSO:**
 - TIPO DE DEFECTO.
 - Nº DE MÓDULOS EN SERIE Y SERIES.
- **INFLUENCIA DE DIFERENTES CONEXIONES INTERMEDIAS.**
- **ANALISIS DE UN CASO REAL: MÓDULOS YINGLI.**

TIPOS DE DEFECTO

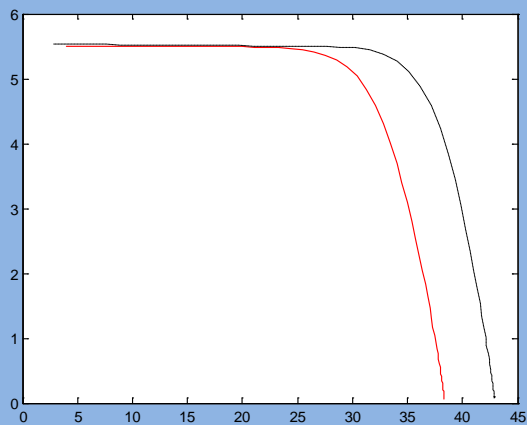
ALTA R_s .



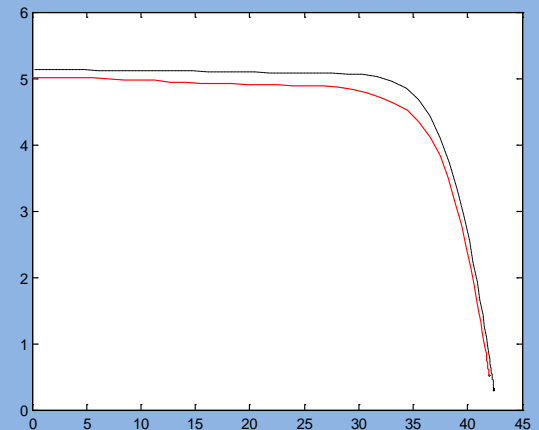
ALGUNO DE SUS "STRINGS"
BAJO EN CORRIENTE



BAJA V_{oc} .

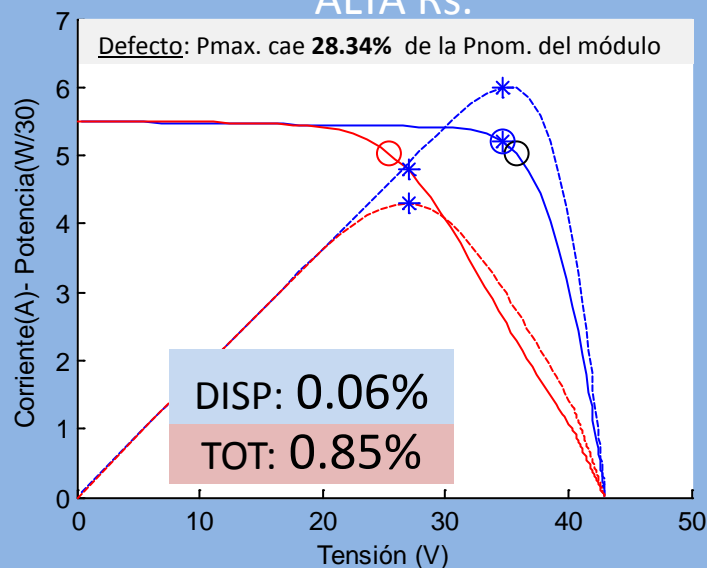


BAJA I_{sc} .

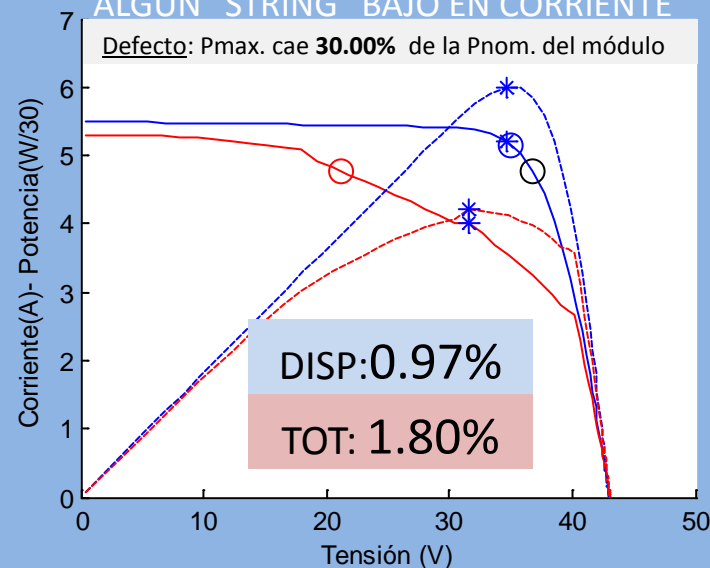


4 GENERADORES 9sx4p CON UNA MISMA MAGNITUD DE DEFECTO.

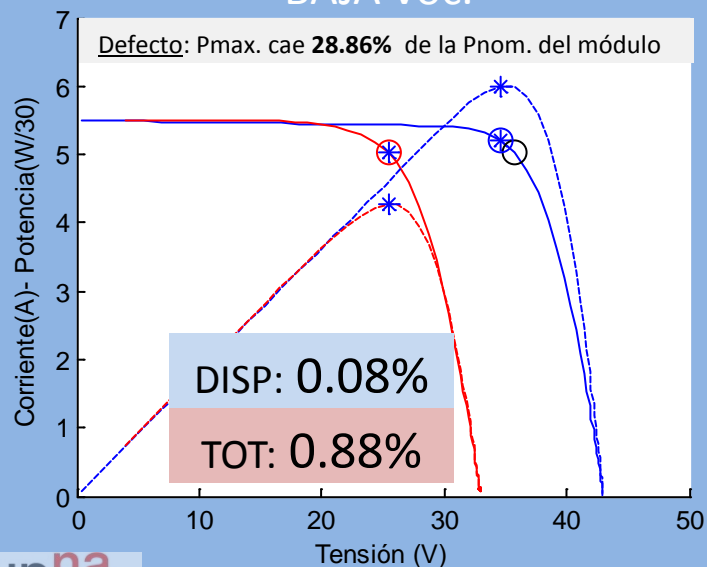
ALTA Rs.



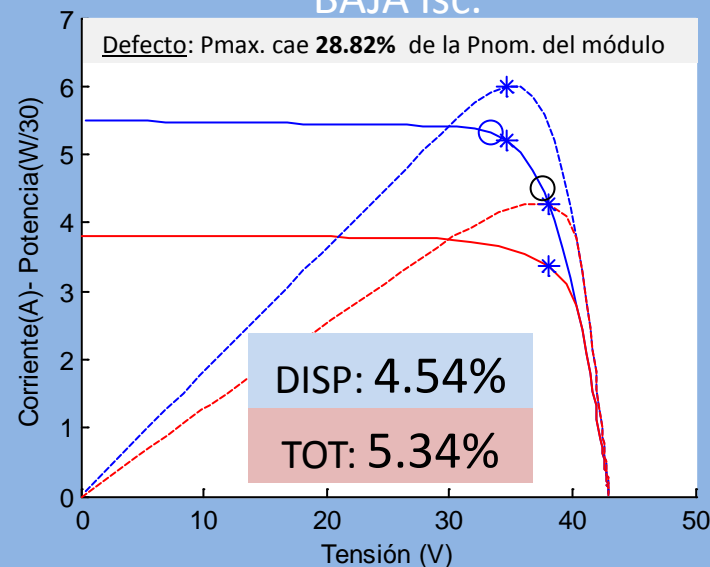
ALGUN "STRING" BAJO EN CORRIENTE



BAJA Voc.



BAJA Isc.



INFLUENCIA DE UN MÓDULO DEFECTUOSO EN GENERADORES 9sx4p

Vseries próxima a la V del PMP en las series “sanas”

DEFECTOS EN TENSIÓN



LEVE modificación
de Iserie defectuosa.



**NO provocan
grandes pérdidas.**

DEFECTOS EN CORRIENTE

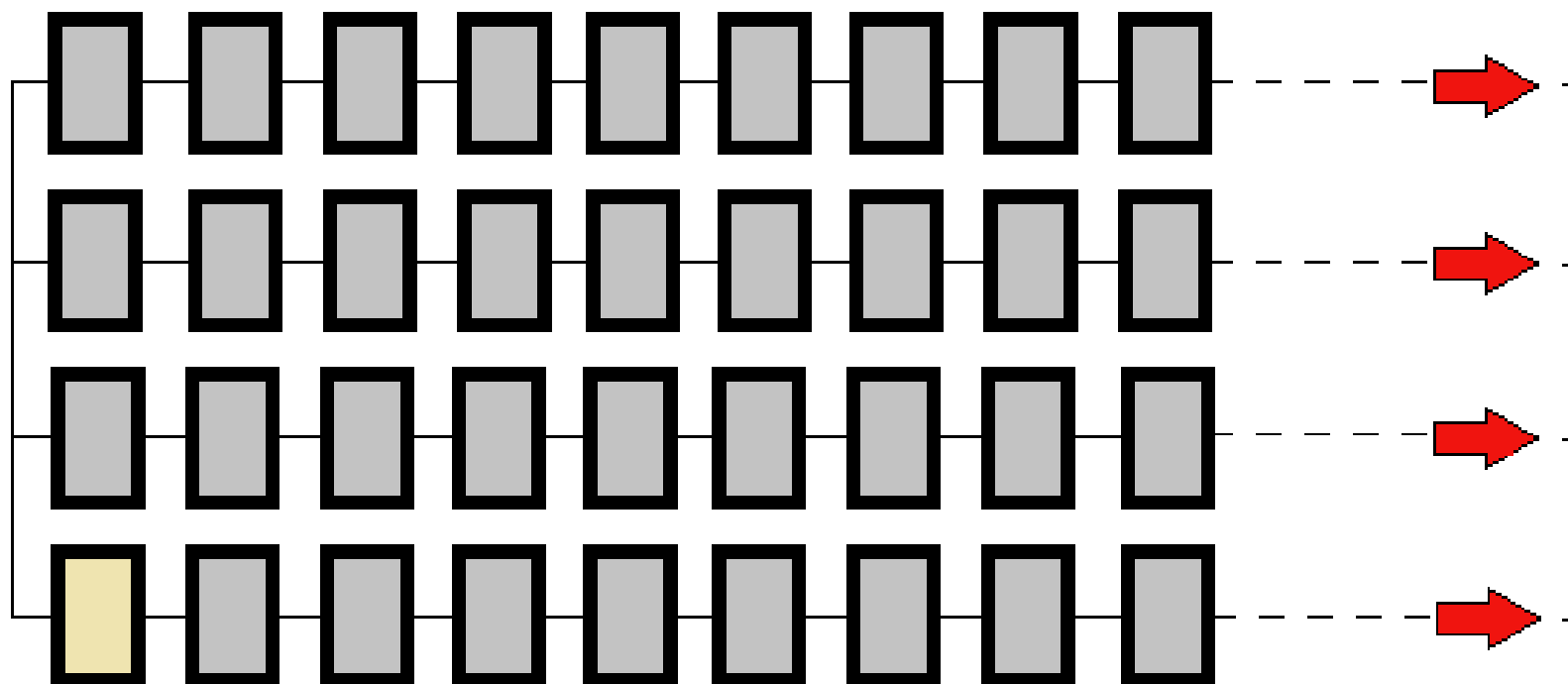


GRAN modificación
de Vmódulo defectuoso.



**Provocan GRANDES
pérdidas
(mód. defectuoso)**

INFLUENCIA DEL Nº DE MÓDULOS EN LAS SERIES



SI EL Nº DE MÓDULOS EN LAS SERIES ES MAYOR

MÓDULO DEFECTUOSO



SUPONE UN MENOR %



% DE PÉRDIDAS POR
DISPERSIÓN MAYOR

MOD. MISMA SERIE



SUPONE UN MAYOR %



% DE PÉRDIDAS POR
DISPERSIÓN MENOR

RESTO DE MÓDULOS



NO VARÍAN EN %
(siempre mayor)



% DE PÉRDIDAS POR
DISPERSIÓN SE
MANTIENEN (siempre
valores bajos)

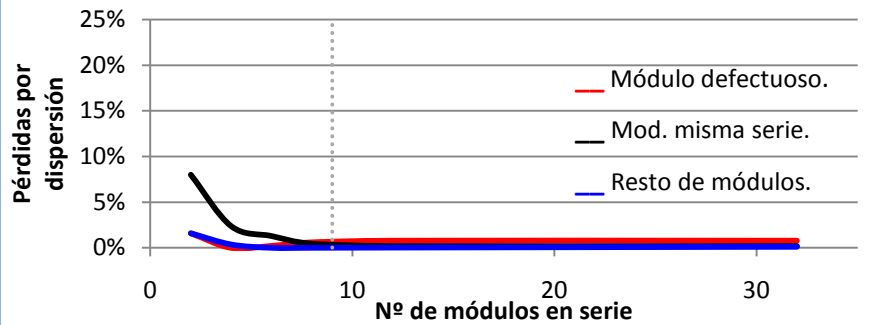


**MENOR % DE PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN Y
TOTALES DEL GENERADOR**

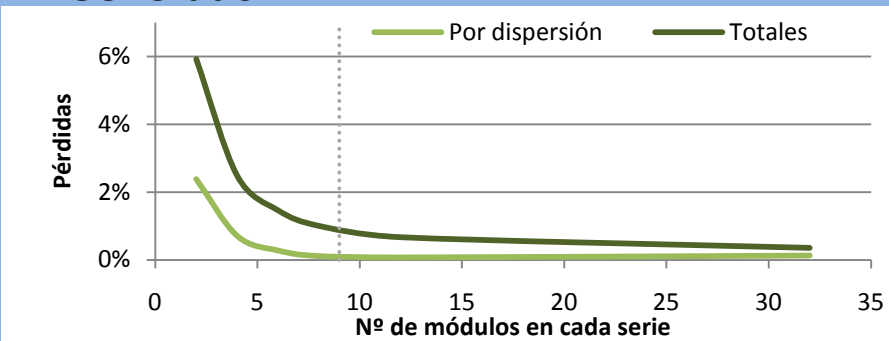
INFLUENCIA DEL Nº DE MÓDULOS EN LAS SERIES

GENERADORES CON UN MÓDULO DEFECTUOSO EN TENSIÓN

Módulos



Generador



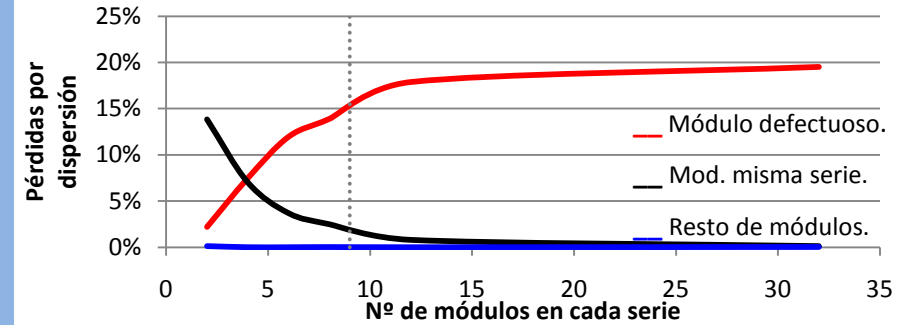
De 6 a 12 módulos en cada serie:



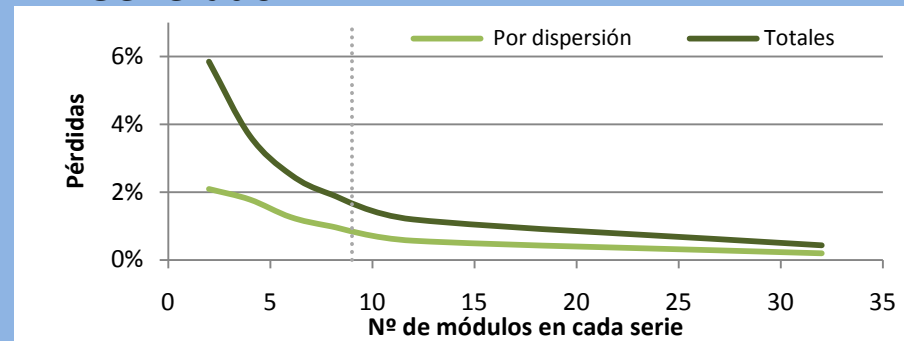
de Pérdidas POR DISPERSIÓN.
de Pérdidas TOTALES.

GENERADORES CON UN MÓDULO DEFECTUOSO EN CORRIENTE

Módulos



Generador



De 6 a 12 módulos en cada serie:

-0.70%

-1.32%

de Pérdidas POR DISPERSIÓN.
de Pérdidas TOTALES.

INFLUENCIA DEL Nº DE SERIES



SI EL Nº DE SERIES ES MAYOR

MÓDULO DEFECTUOSO



SUPONE UN MENOR %



% DE PÉRDIDAS POR
DISPERSIÓN MAYOR

MOD. MISMA SERIE



SUPONE UN MENOR %



% DE PÉRDIDAS POR
DISPERSIÓN MAYOR

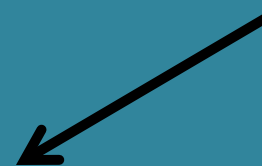
RESTO DE MÓDULOS



SUPONE UN MAYOR %



% PÉRDIDAS POR
DISPERSIÓN MENOR

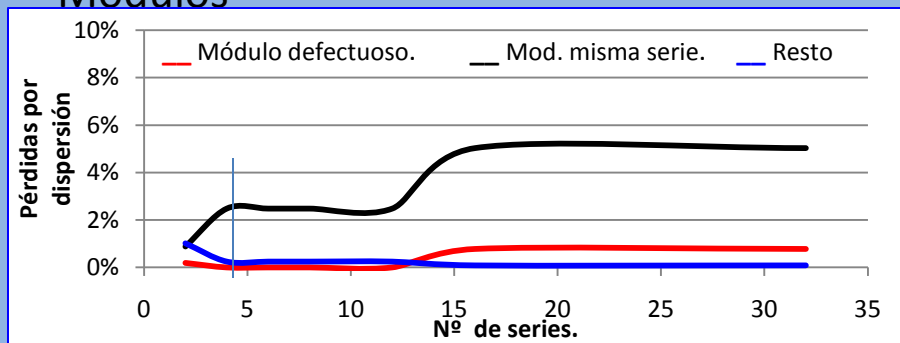


**MENOR % DE PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN Y
TOTALES DEL GENERADOR**

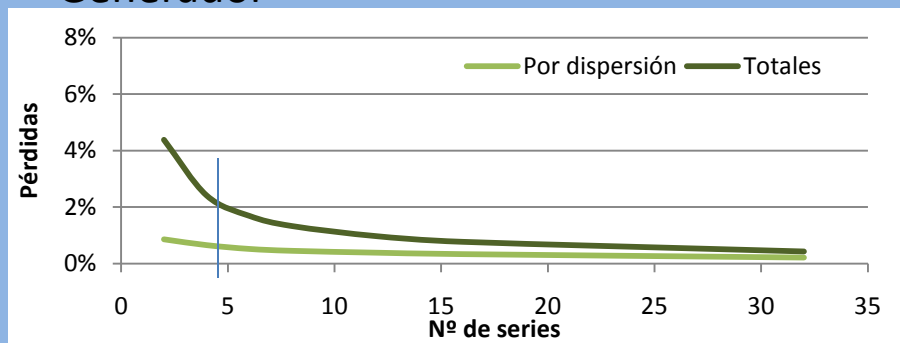
INFLUENCIA DEL Nº DE SERIES

GENERADORES CON UN MÓDULO DEFECTUOSO EN Tensión

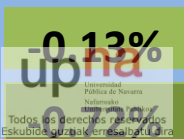
Módulos



Generador



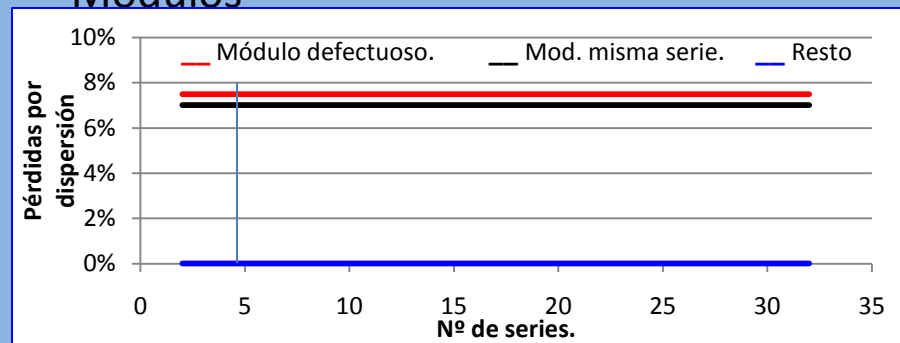
De 6 a 12 series:



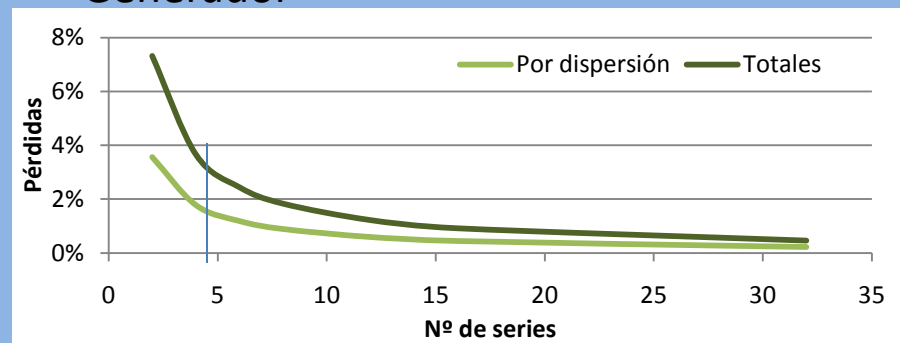
de Pérdidas POR DISPERSIÓN.
de Pérdidas TOTALES.

GENERADORES CON UN MÓDULO DEFECTUOSO EN CORRIENTE

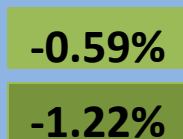
Módulos



Generador



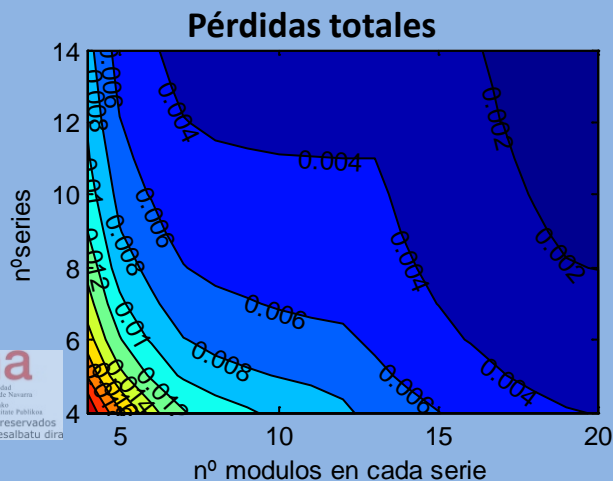
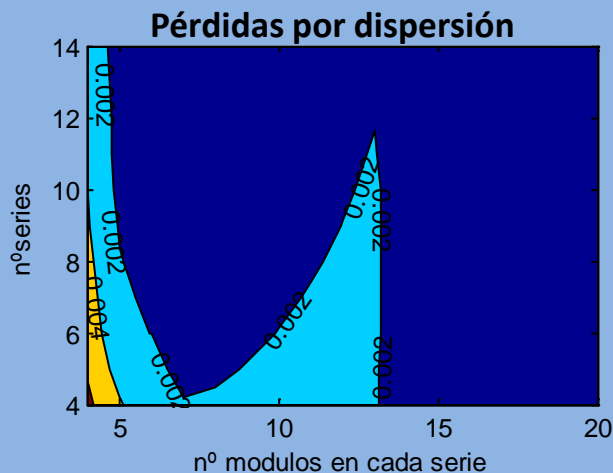
De 6 a 12 series:



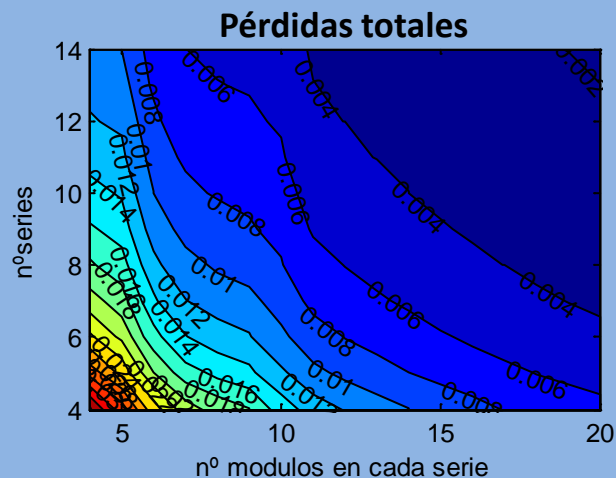
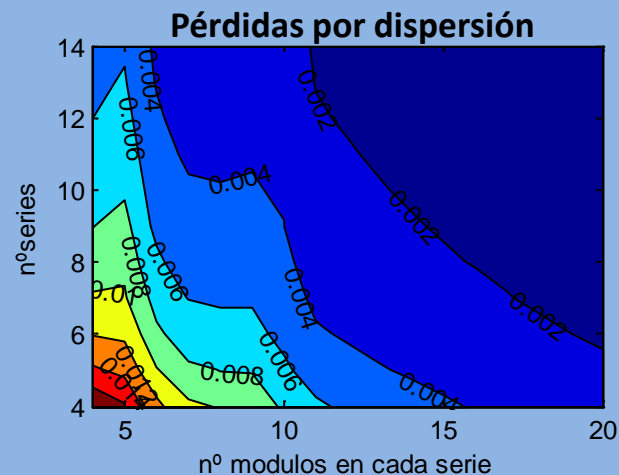
de Pérdidas POR DISPERSIÓN.
de Pérdidas TOTALES.

COMBINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL Nº DE MÓDULOS EN LAS SERIES Y DEL Nº DE SEIRES

GENERADORES CON UN MÓDULO DEFECTUOSO EN TENSIÓN



GENERADORES CON UN MÓDULO DEFECTUOSO EN CORRIENTE



Y en generadores reales o creados mediante muestras aleatorias, ¿Cómo influye el nº de módulos en serie y nº de series?

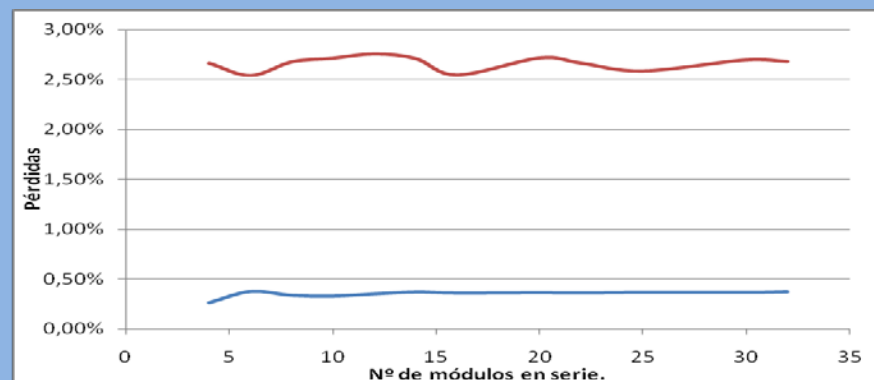
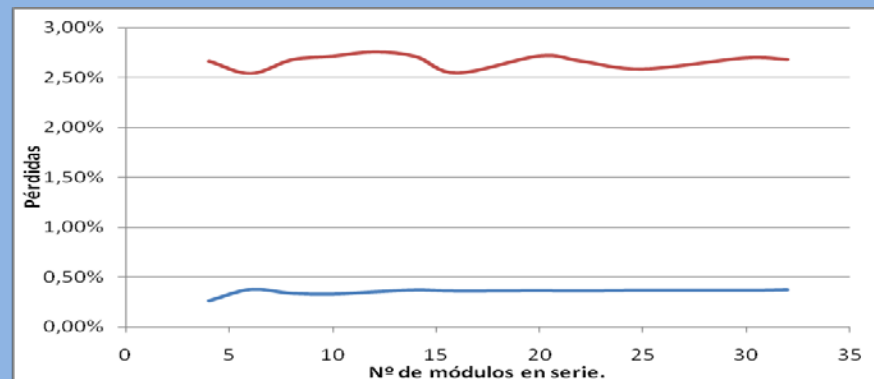
SI EL Nº DE MÓDULOS EN SERIE O SERIES
ES MAYOR



NO AFECTA
PRÁCTICAMENTE A SUS
PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN

SI EL Nº DE MÓDULOS EN SERIE O
SERIES ES MAYOR,
LAS PÉRDIDAS VARÍAN MUY POCO Y
ALEATORIAMENTE

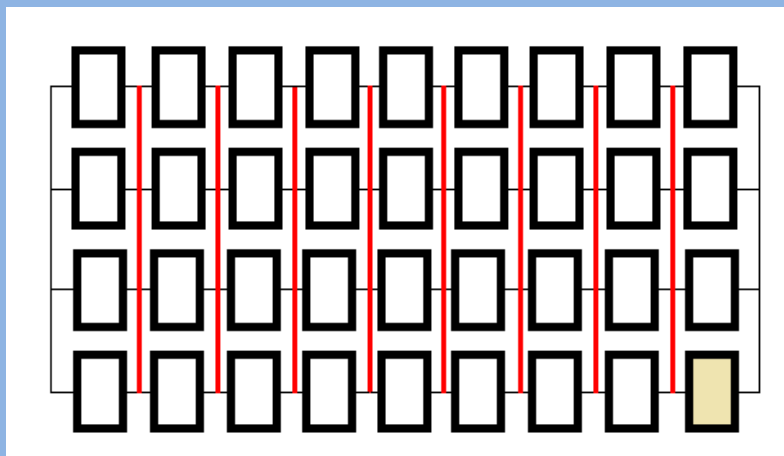
(un 0.25%, aproximadamente en
totales)



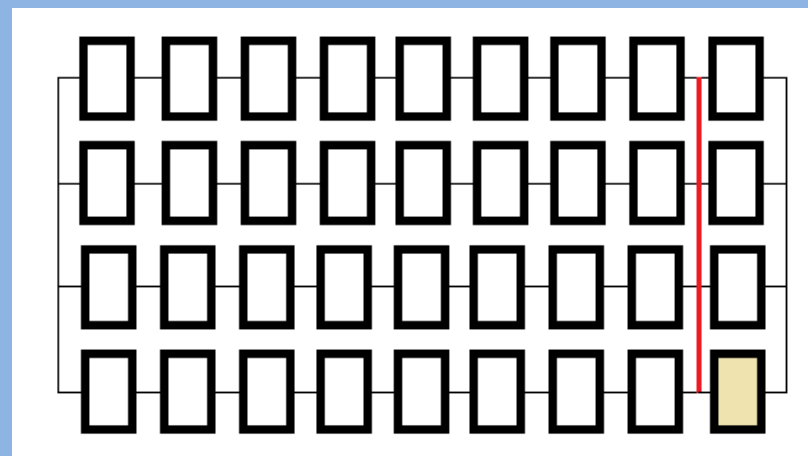
— Pérdidas por dispersión. — Pérdidas totales.

CONEXIONES INTERMEDIAS

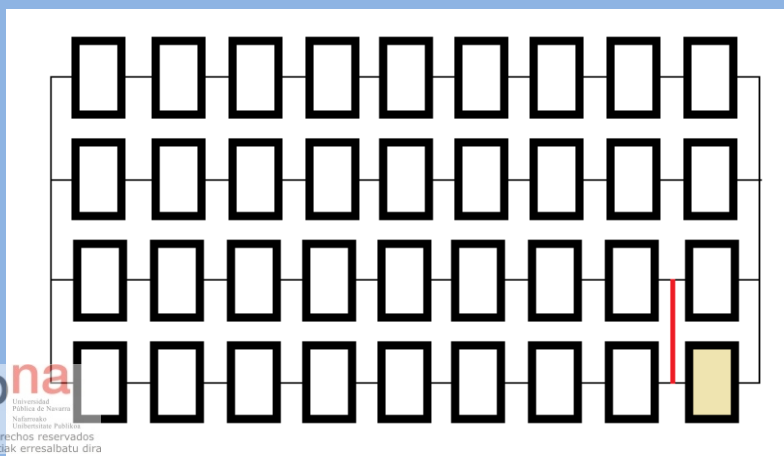
CONEXIÓN RED



CONEXIÓN PARALELO DE N MÓDULOS



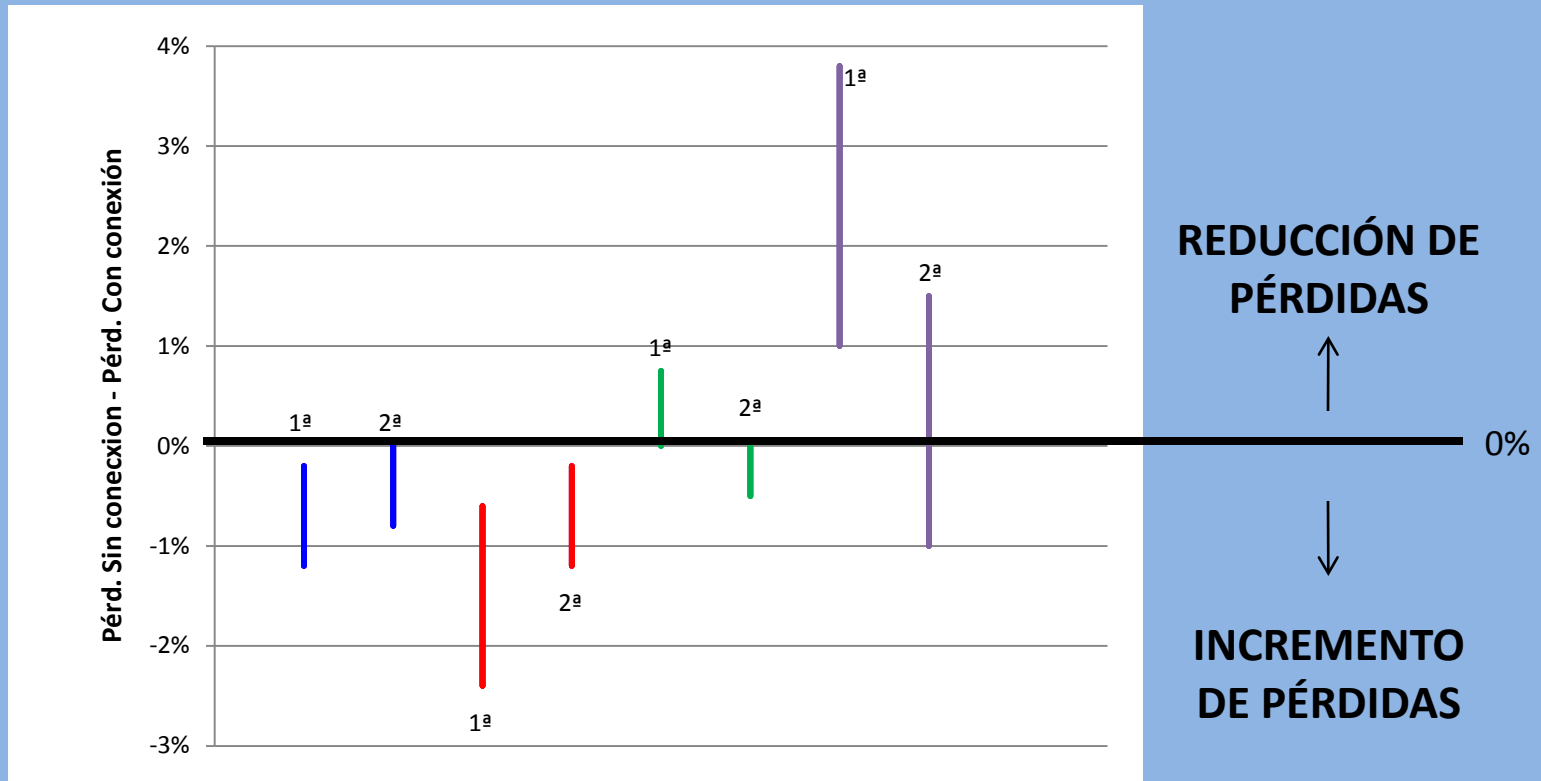
CONEXIÓN PARALELO DE 2
MÓDULOS



**SE “ABREN
CAMINOS A LA
CORRIENTE”**

EN FUNCION DEL TIPO DE DEFECTO

Diferencia de pérdidas sin aplicar conexión y aplicando conexión



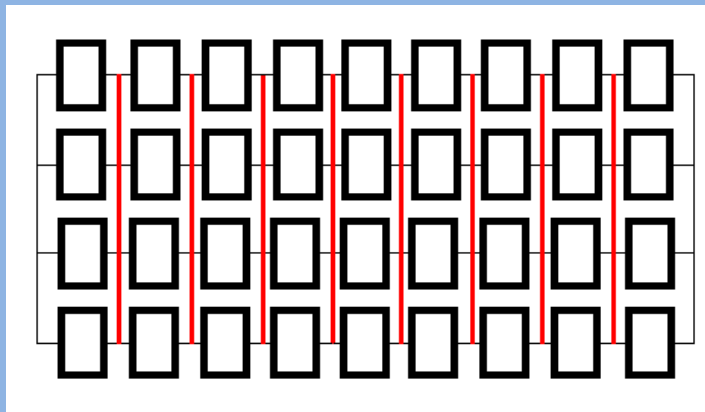
- Generadores con un módulo con alta Rs.
- Generadores con un módulo con baja Voc.
- Generadores con un módulo con algunos "strings" bajos en corriente.
- Generadores con un módulo con baja Isc.

1ª BARRA: "Paralelo de N módulos".
2ª BARRA: "Paralelo de 2 módulos".

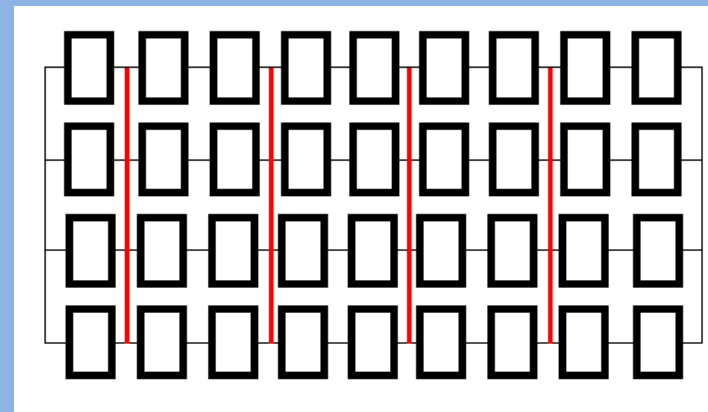
- La conexión “paralelo de N módulos” asegura la reducción de las pérdidas únicamente en generadores con un módulo con un defecto en corriente.
- La conexión “paralelo de 2 módulos” puede reducir las pérdidas solo en generadores con un defecto en corriente, pero existe el riesgo de incrementarlas.
- En generadores con un módulo con defecto en tensión la aplicación de conexiones intermedias nunca es favorable.

Y en generadores reales o creados mediante muestras aleatorias ¿Cómo influyen las conexiones intermedias?

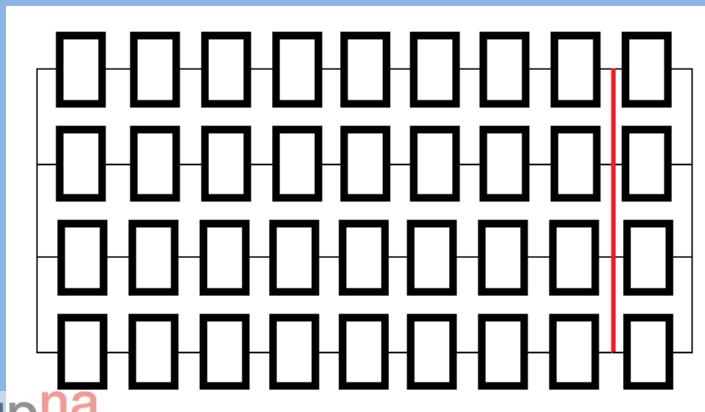
CONEXIÓN RED



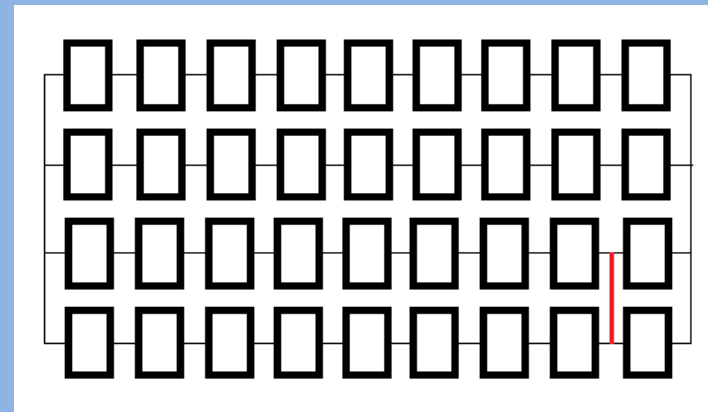
CONEXIÓN RED POR PAREJAS



CONEXIÓN PARALELO DE N MÓDULOS

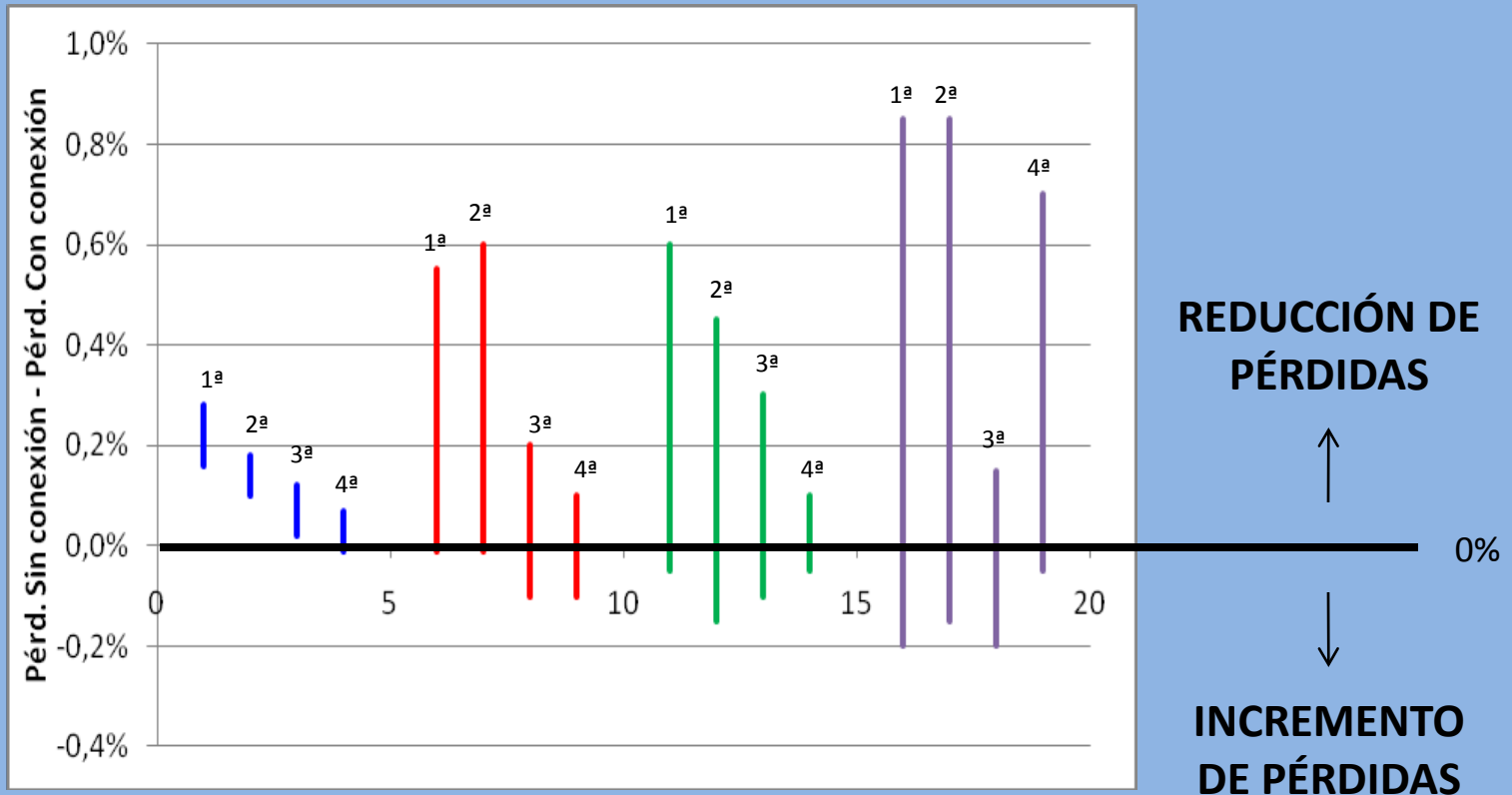


CONEXIÓN PARALELO DE 2 MÓDULOS



CONEXIONES INTERMEDIAS EN GENERADORES REALES Y CREADOS MEDIANTE MUESTRAS ALEATORIAS

Diferencia de pérdidas sin aplicar conexión y aplicando conexión

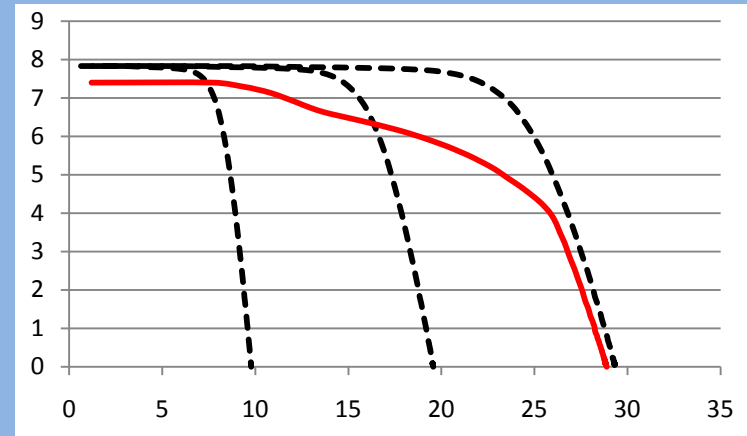
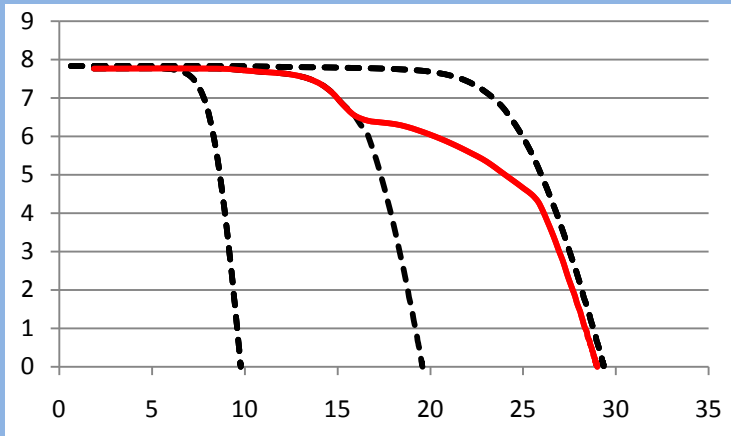
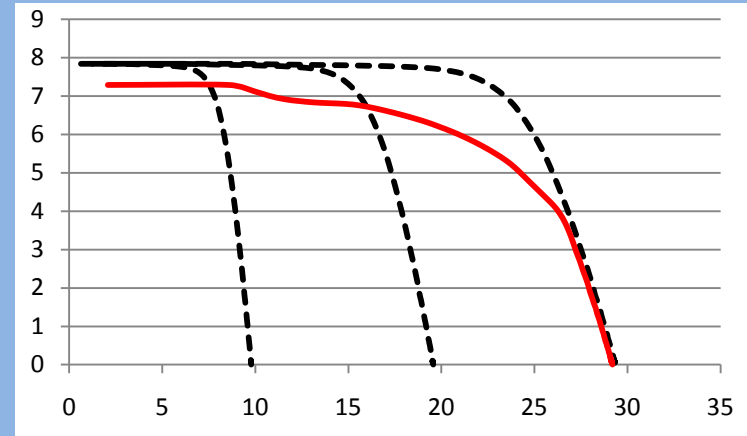
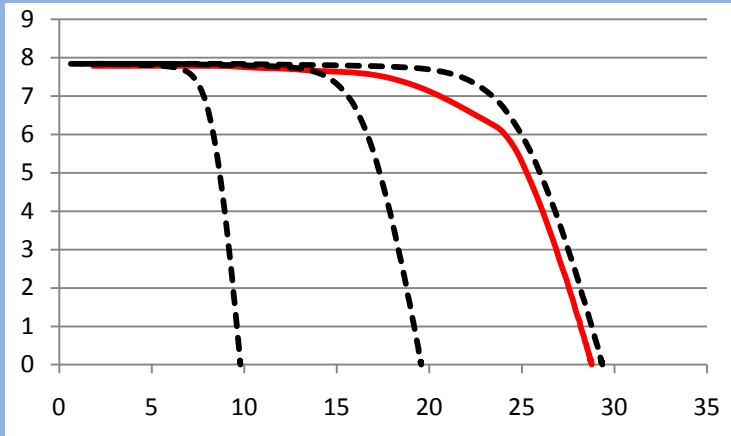


- Distribución creada mediante muestras aleatorias
- Distribución del generador real E19.
- Distribución del generador real C15.
- Distribución del generador real G03.

- 1ª BARRA:** conexión "Red".
- 2ª BARRA:** conexión "Red en parejas".
- 3ª BARRA:** conexión "Paralelo de N módulos".
- 4ª BARRA:** conexión "Paralelo de 2 módulos".

CASO REAL: MÓDULOS YINGLI

Ejemplos:



MÓDULOS CON “STRINGS”
BAJOS EN CORRIENTE



**Pérdidas por dispersión elevadas,
especialmente en el Módulo
defectuoso.**

Módulo con defecto leve: 0.11% 0.38%

Módulo con defecto elevado: 0.70% 1.50%

LAS PÉRDIDAS VARÍAN EN FUNCIÓN DE:

Nº de “strings”
deteriorados

0.04% más de pérdidas
por dispersión por cada
“string” deteriorado

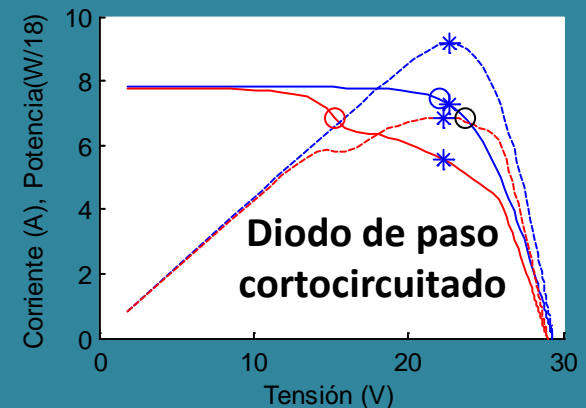
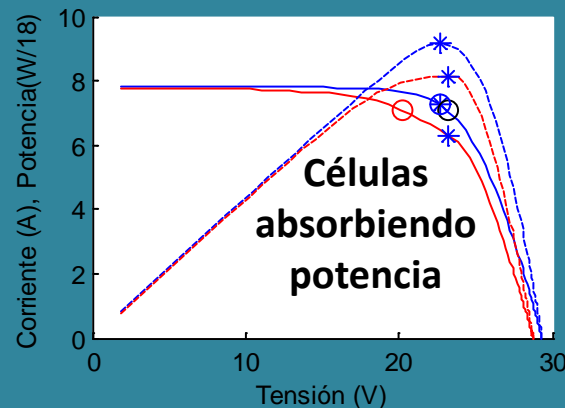
0.3% más de pérdidas
totales por cada “string”
deteriorado

Magnitud de defecto
de los “strings”
deteriorados

Mayor magnitud de defecto



Mayores pérdidas (hasta un límite)



Dispersión de los
“strings”
deteriorados en las
series

Mayor agrupación



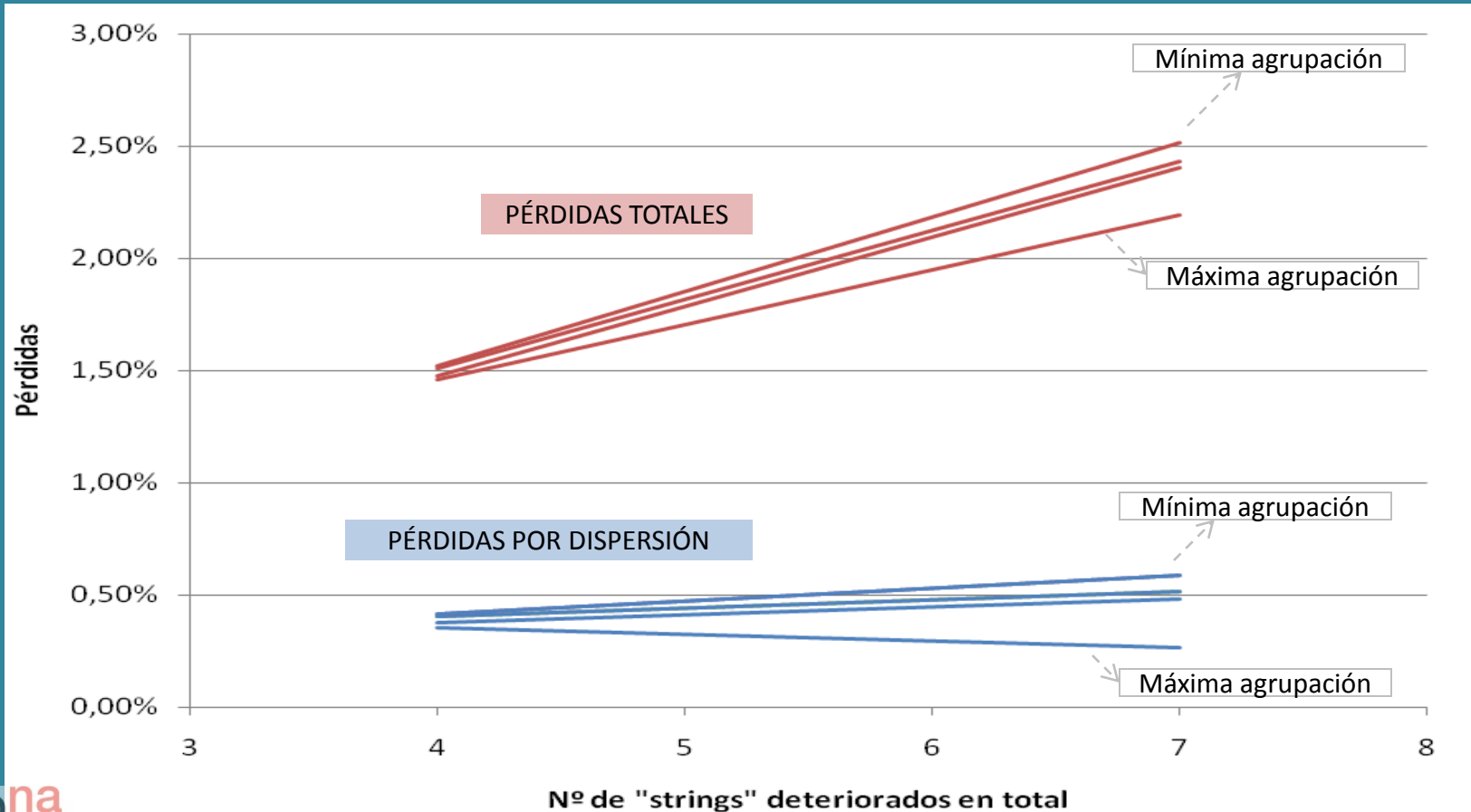
Menores pérdidas

(Apenas influye a excepción de la máxima
agrupación)

PÉRDIDAS EN FUNCIÓN DE:

- Nº de “strings” deteriorados
- Agrupación de los “strings” deteriorados en las series.

Generadores 10sx4p con “strings” de defecto leve.



CONCLUSIONES:

- Defecto en corriente y defecto en tensión.

Ejemplo:

En corriente 0.97% 1.80%

En tensión 0.06% 0.85%

- Pérdidas en el módulo defectuoso.

Ejemplo:

Módulo defectuoso 19.10%

Módulos misma serie 1.91%

Resto de módulos 0.05%

- Mayor nº de módulos en serie o series → menor influencia.

Ejemplo:

Gen.4sx4p 1.97% 3.66%

Gen.12xs4p 0.57% 1.20%

Gen.4sx12p 0.60% 1.22%

- Conexiones intermedias favorables en defectos en corriente.

Mas uniones en más % de módulos → mas influye.

Máxima disminución de pérdidas esperada en generadores reales: aproximadamente 1%

Máximo incremento de pérdidas esperada en generadores reales : aproximadamente 0.3%

- Módulos *Yingli* con algunos “strings bajos en corriente.

0.04% más de pérdidas por dispersión por cada “string” deteriorado.

0.3% más de pérdidas totales por cada “string” deteriorado.

- Módulos *Yingli* con algunos “strings bajos en corriente.
0.04% más de pérdidas por dispersión por cada “string” deteriorado.
0.3% más de pérdidas totales por cada “string” deteriorado.

GRACIAS